

# Institut National Agronomique Paris-Grignon

## THESE

présentée pour l'obtention du titre de :

## DOCTEUR

de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon

"*Sciences Agronomiques*"

par

*Jean-Christophe CASTELLA*

**STRATEGIES DE LUTTE CONTRE LES INSECTES RAVAGEURS DANS  
LES SYSTEMES DE CULTURE COTONNIERS EN THAILANDE:  
Logiques actuelles et propositions pour une gestion durable.**

Soutenue le 30 juin 1995, devant la commission d'examen composée de :

M. SEBILLOTTE  
J.C. LEFEUVRE  
S. SAVARY  
B. SAUGIER  
H. MANICHON  
P. MILLEVILLE

Professeur à L'INA-PG  
Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle  
Directeur de Recherche ORSTOM  
Professeur Université Paris Sud - Orsay  
CIRAD / AGER  
Directeur de Recherche ORSTOM

Président  
Rapporteur  
Rapporteur  
Examineur  
Examineur  
Examineur

*Pour Félix...*

# SOMMAIRE

---

<b>1. INTRODUCTION :</b>	<b>5</b>
<b>2. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE :</b>	<b>17</b>
2.1 Agro-physiologie du cotonnier	17
2.2 Le complexe parasitaire en culture cotonnière	29
2.3 La gestion intégrée des contraintes phytosanitaires	35
<b>3. PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE</b>	<b>59</b>
3.1 Les niveaux d'appréhension de la contrainte phytosanitaire	59
3.2 Les méthodes et critères d'observation	61
3.3 Les hypothèses de travail	65
<b>4. APPROCHE REGIONALE</b>	<b>69</b>
4.1 Introduction	69
4.2 Méthode	70
4.3 Présentation des deux zones d'étude	71
4.4 Transformations du milieu biophysique	80
4.5 Rôle des acteurs de la filière cotonnière dans la situation actuelle de crise	89
4.6 Conclusion	113
<b>5. APPROCHE EXPERIMENTALE A L'ECHELLE DE LA PARCELLE :</b>	<b>116</b>
5.1 Introduction	116
5.2 Méthode	116
5.3 Le complexe parasitaire du cotonnier	122
5.4 Analyse des interactions plante - ravageurs sur le rendement	133
5.5 Efficacité de la protection insecticide sur l'entomofaune et les dégâts	150
5.6 Conclusion	162
<b>6. LES SYSTEMES DE CULTURE COTONNIERS</b>	<b>167</b>
6.1 Introduction	167
6.2 Méthode	167
6.3 Diversité des pratiques paysannes en culture cotonnière	168
6.4 Impact des stratégies de protection paysannes sur les dégâts d'insectes et le rendement	202
6.5 Compréhension des systèmes de culture cotonniers par le fonctionnement des systèmes de production	223
6.6 Conclusions	235
<b>7. CONCLUSIONS</b>	<b>239</b>
7.1 Acquis et perspectives scientifiques	239
7.2 Propositions pour une gestion durable des systèmes de culture cotonniers	243
7.3 Quelles approches privilégier pour introduire les pratiques de lutte intégrée?	244

# AVANT PROPOS

## HISTOIRE D'UNE RECHERCHE

---

Mes travaux de recherche sont liés depuis 1990 aux activités du projet de coopération bilatérale franco - thaï: DORAS<sup>1</sup>, dans le cadre de l'Université Kasetsart d'agriculture, en Thaïlande.

Ce pays est confronté depuis le début des années quatre vingt à un développement économique sans précédent à l'origine de profondes transformations du secteur agricole. L'espace rural a été bouleversé à différents points de vue :

- L'évolution rapide du *contexte économique et social* contribue à une différenciation croissante des systèmes de production. Bangkok est devenu un pôle d'attraction pour les petits agriculteurs, qui viennent grossir un exode rural continu.
- *L'innovation technique* représente une façon privilégiée de réduire l'écart économique avec la ville. Elle conduit le plus souvent à intensifier (en terme de gain de production à l'unité de surface) les systèmes de culture soumis à une pression foncière importante.
- Le modèle de croissance agricole, fondé sur un prélèvement systématique des ressources naturelles, a des conséquences dramatiques sur *l'environnement*.

Dans un tel contexte, le projet DORAS s'est attaché à caractériser ces changements, à établir des références techniques qui répondent à une réalité de terrain en constante évolution, afin d'aider les agriculteurs confrontés à ces nouveaux environnements à maîtriser la conduite de leurs cultures, à diversifier leurs choix et assurer la viabilité de leurs systèmes de production.

## PREMIER EPISODE

En 1991, après deux années de recherche-développement sur les systèmes de culture maraîchers de la Plaine Centrale, le projet a orienté ses activités vers la production cotonnière, en collaboration avec le CIRAD<sup>2</sup>.

Alors volontaire du service national<sup>3</sup>, j'ai coordonné les travaux de terrain d'une petite équipe, constituée d'une agronome (Nopporn SAYAMPOL) et d'un entomologiste (Pornpan POOPROMPAN) de l'Université Kasetsart<sup>4</sup> (UK), assistés de trois techniciens.

---

<sup>1</sup> DORAS : Development-oriented research on agrarian systems

<sup>2</sup> CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

<sup>3</sup> VSN : Volontaire du service national

<sup>4</sup> UK : Université Kasetsart

Nous avons la responsabilité des essais phytosanitaires ainsi que des enquêtes sur les systèmes de culture paysans, dans la province de Kanjanaburi.

J'ai aussi participé au diagnostic sur les transformations des systèmes agraires régionaux, mené dans cette même zone par Guy TREBUIL, coordinateur du projet DORAS et agro-économiste CIRAD-CA<sup>5</sup>, Chacharee NARITOOM spécialiste en développement agricole et vulgarisation (UK), Pongpan TRAIMONGKONKOOL et Nitaya NGERNPRASERTSRI, sociologues (UK) ainsi que Srisa-Ang KAOJARERN, spécialiste en télédétection de l'Asian Institute of Technology (AIT, Bangkok).

Ces activités en milieu paysan avaient pour objectif d'identifier les facteurs limitant le développement de la culture cotonnière en Thaïlande. Elles alimentaient les travaux expérimentaux, menés sur la station de Farm Suwan (province de Nakhon Rachasima), en thèmes de recherche adaptés à la réalité de la production cotonnière.

Cette phase préliminaire de diagnostic a montré que :

- la culture cotonnière était en déclin rapide,
- la maîtrise technique de la protection phytosanitaire était une des raisons majeures d'une disparition annoncée.

## DEUXIEME EPISODE

En juillet 1992, j'ai pu poursuivre, dans le cadre d'une thèse, les travaux de recherche entrepris l'année précédente. Michel SEBILLOTTE, professeur à l'INA-PG<sup>6</sup>, ainsi que Pierre MILLEVILLE, responsable de l'unité de recherche 'Dynamiques des systèmes de production' de l'ORSTOM<sup>7</sup>, m'ont encouragé dans cette voie et ont assuré l'encadrement scientifique de mes activités. J'ai bénéficié d'une allocation de recherche MESR<sup>8</sup> ainsi que du soutien logistique de l'ORSTOM, notamment par l'intermédiaire de Jean-Christophe SIMON, responsable de la mission ORSTOM de Bangkok.

J'ai alors partagé mon temps entre trois lieux de travail :

La zone de Saiyok, dans la province de Kanjanaburi.

- Nous menions les enquêtes 'systèmes de culture cotonniers' avec Parinda PRAMPREE, assistante de recherche à l'UK. J'ai participé de manière plus sporadique aux essais phytosanitaires menés en milieu paysan, dans le cadre de la coopération CIRAD - UK, par Jean-Paul GENAY, VSN entomologiste du CIRAD, Pornpan POOPROMPAN (UK) et Jumrus KIMNARUX, technicienne du projet DORAS.

---

<sup>5</sup> CIRAD-CA : Division des cultures annuelles du CIRAD

<sup>6</sup> INA-PG : Institut national agronomique Paris-Grignon

<sup>7</sup> ORSTOM : L'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération

<sup>8</sup> MESR : Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche

La zone de Chaibadan, dans la province de Lopburi.

- Il s'agissait d'un nouveau terrain d'étude pour le projet DORAS, et nous avons grandement bénéficié de l'aide de Suphot PHRONVASANYING, vulgarisateur agricole local, tout au long des travaux de recherche. J'ai mis en place et suivi (avec l'aide d'un assistant de recherche) un essai à trois niveaux de protection phytosanitaire du même genre que ceux de Kanjanaburi. Parallèlement, nous menions des enquêtes 'systèmes de culture' chez une quinzaine d'agriculteurs.

Le campus de l'UK à Kamphaengsaen, province de Nakhon Pathom.

- Dans les locaux mis à la disposition du projet DORAS par Peerasak SRINIVES, vice-recteur de l'Université Kasetsart, nous saisissons et analysons les données. L'équipe du projet se réunissait régulièrement afin de coordonner les activités de recherche.

En 1993, notre dispositif de recherche était déjà rodé. Le contact avec les agriculteurs était très agréable; ils avaient pris l'habitude du « farang<sup>9</sup> qui vient leur poser des questions indiscrettes une semaine sur deux ». Ils notaient même les réponses aux questions avant qu'on les leur pose.

Jean-Christophe SIMON, de la mission ORSTOM Bangkok, a mis à notre disposition un véhicule tout terrain et un chauffeur, qui ont grandement facilité l'organisation pratique des enquêtes.

enfin, Wissen SWANGSRI et Kanok PANBOUA, étudiants à la faculté de développement agricole de l'UK, ont collaboré à nos activités de recherche à Lopburi, dans le cadre de leur mémoire de master.

Avec Kanok, nous avons étudié les transformations des systèmes agraires régionaux et le rôle joué par la culture cotonnière dans les systèmes de production (sur le modèle de l'approche utilisée à Kanjanaburi en 1991). Wissen a travaillé sur la conduite des systèmes de culture cotonniers, à partir du réseau d'agriculteurs que nous enquêtions pour la seconde année. De même, l'essai phytosanitaire a été reconduit, et suivi grâce à l'aide de Suthat PHUNOI, assistant local.

A Lopburi, j'ai aussi supervisé les essais variétaux en milieu paysan, proposés par Trung Bieu NGUYEN, généticien du CIRAD-CA basé sur la station de Farm Suwan.

A Kanjanaburi, le dispositif de recherche est resté le même que l'année précédente : essais phytosanitaires et variétaux CIRAD-KU et pour ma part, enquêtes 'systèmes de culture'.

L'analyse des résultats 1993 a grandement bénéficié de nos discussions avec Yves CROZAT, agro-physiologiste CIRAD-CA, qui a pris le relais de Guy TREBUIL à la

---

<sup>9</sup> Nom donné aux occidentaux (en Thaï)

coordination du projet DORAS cette année là. Banpot NAPOMPETH, spécialiste du contrôle biologique des insectes ravageurs, mais aussi directeur du projet DORAS et vice-recteur de l'Université Kasetsart, m'a prodigué ses conseils.

Le premier semestre 1994 a été consacré à l'analyse des données et à la recherche bibliographique dans les universités (Thammasat, Chulalongkorn) et ministères (agriculture, intérieur, santé) de Bangkok.

## SUITE ET FIN

**Août 1994**, retour en France, après quatre ans et demi passés sous les tropiques, ... et les affres de la rédaction.

Heureusement, Karine VIE et Serge SAVARY, respectivement statisticienne et phytopathologiste à l'ORSTOM, m'ont apporté leur soutien, notamment pour donner forme aux résultats des expérimentations phytosanitaires.

J'ai reçu un accueil chaleureux de tous les membres du Laboratoire d'études agraire, sous la responsabilité de Thierry RUF, et j'ai pu bénéficier de conditions de travail idéales au centre ORSTOM de Montpellier.

Michel SEBILLOTTE, Pierre et Christine MILLEVILLE, ainsi que Jean-Marc MEYNARD, agronome à l'INRA<sup>10</sup>, et Maurice VAISSAYRE, entomologiste au CIRAD-CA, ont grandement contribué à structurer et clarifier les manuscrits successifs.

Jean-Claude LEFEUVRE, écologue au Muséum d'histoire naturelle, et Serge SAVARY ont très gentiment accepté d'être rapporteurs de cette thèse, malgré les délais de lecture particulièrement court que je leur impose. Bernard SAUGIER, écologue à l'Université Paris-Sud Orsay, et Hubert MANICHON, responsable de la mission AGER au CIRAD, m'ont aussi fait le plaisir de participer au jury le jour de la soutenance.

A tous les acteurs de cette histoire (et même à ceux que j'ai oublié de citer) je tiens à exprimer ma profonde gratitude, et à dire combien j'ai eu de plaisir à travailler, apprendre, échanger... avec eux.

---

<sup>10</sup> INRA : Institut national de la recherche agronomique

# **Introduction :**

Le contexte de la production  
cotonnière en Thaïlande



# 1. INTRODUCTION :

## LE CONTEXTE DE LA PRODUCTION COTONNIERE EN THAILANDE

---

### ■ *Une longue tradition cotonnière.*

Le cotonnier était cultivé en Thaïlande avant même les premières migrations du peuple Thaï depuis le Yunnan (au Sud de la Chine) vers le IXe siècle. L'agriculture de subsistance imposait cette culture, dont toutes les étapes de la production et de la transformation étaient assurées au sein du groupe familial. Au début du XIXe siècle, un surplus de production permettait des échanges commerciaux dans les villages sous forme de troc et, à l'aval de la filière, les cotonnades comptaient pour plus de 10% des exportations du Siam. Les premières descriptions de voyageurs dans ce pays notent la présence de métiers à tisser manuels dans la plupart des foyers (GRAHAM, 1924 cité par INGRAM, 1950).

Mais la révolution industrielle en Europe amène en Thaïlande des tissus à bas prix qui concurrencent la production locale, notamment dans la Plaine Centrale où les inondations saisonnières interdisent la culture cotonnière. De plus, le transport par voie maritime s'avère à cette époque plus économique et moins risqué qu'entre régions du même pays par voie de terre. INGRAM (1950) souligne qu'il était plus rentable de convoier une tonne de tissu de Londres à Bangkok plutôt que depuis Chiangmai, au Nord du pays.

Dès 1850, les premiers traités commerciaux avec les puissances coloniales des pays voisins de la péninsule indochinoise, firent passer les produits textiles au premier rang des importations du Siam. En contrepartie, le royaume encouragea une croissance agricole tournée vers l'exportation, presque exclusivement fondée sur le développement de la riziculture inondée.

Vers 1910, la production cotonnière était réduite aux zones marginales du nord et du nord-est, très isolées du reste du pays par le manque d'infrastructures de transport. Dans les années trente, des semences de cotonnier *Gossypium hirsutum*, originaires du Cambodge, furent introduites en Thaïlande. De meilleure qualité que les cotonniers asiatiques traditionnels (*Gossypium arboreum*), ils permirent le développement rapide d'une industrie locale, au moment où les importations de tissus étaient réduites à leur plus bas niveau, durant la Seconde Guerre mondiale. La production nationale, qui n'était que de 6000 t durant la période 1937-39, passa par un pic de 42000 t en 1943 avant de retomber à 15000 à la fin de la guerre vers 1948-49 (GRIMBLE, 1971).

La culture cotonnière existe donc de longue date sous sa forme traditionnelle en Thaïlande. Destinée à répondre aux besoins domestiques, les étapes successives de la production de matière première jusqu'au produit fini étaient assurées par le cercle familial. Cependant, en concurrence avec les importations de tissus d'Europe, elle resta confinée jusqu'en 1950 aux zones marginales de montagne alors que la priorité était donnée au développement de la riziculture inondée dans la Plaine Centrale.

### ■ *Une industrie textile florissante en manque de matière première*

Les débuts de l'industrie textile thaïlandaise remontent à une quarantaine d'années. La production cotonnière nationale (8000 tonnes de fibre environ) suffisait alors à alimenter des filatures artisanales très faiblement mécanisées. Le tissage était sous-traité à des familles des villages alentours. En effet, cette opération, réalisée manuellement, représentait un véritable goulot d'étranglement. La production était commercialisée localement alors que des tissus de qualité supérieure étaient importés.

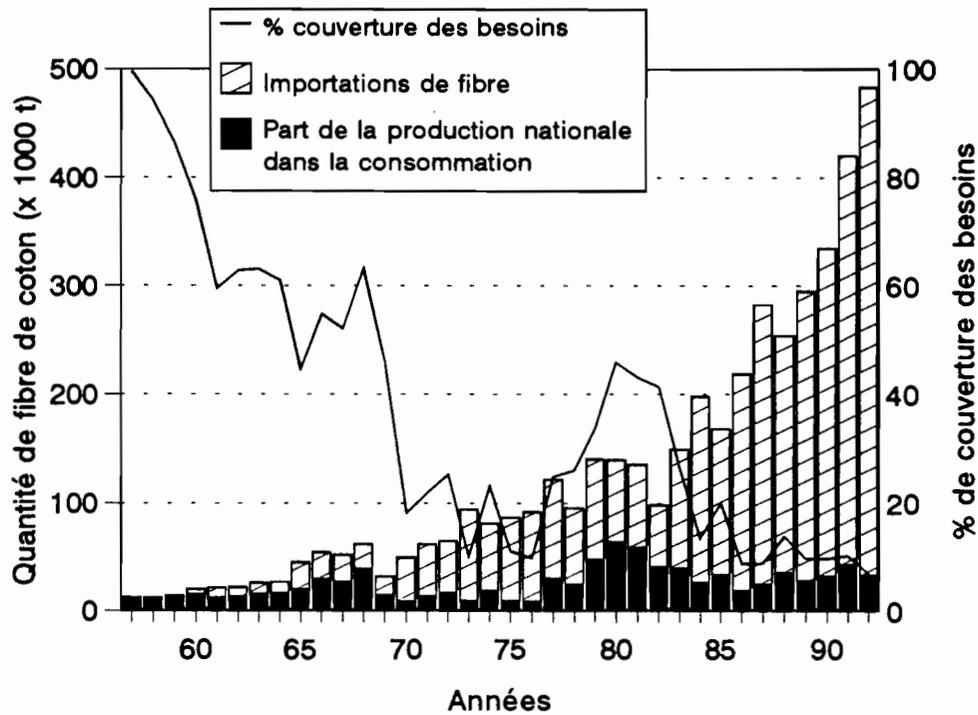
Mais à partir des années 50, la politique du gouvernement en matière de production textile visa une substitution progressive aux importations en favorisant le développement de l'industrie nationale. Les premiers métiers à tisser automatiques furent importés dès cette époque et l'*Industrial Promotion Act* de 1960 marqua le début d'une industrialisation rapide de ce secteur. La capacité de production n'a depuis jamais cessé d'augmenter, sous l'impulsion d'investisseurs étrangers et grâce à la politique fiscale avantageuse du gouvernement (CHITKRUA, 1980). Dès la fin des années soixante, la Thaïlande devint autosuffisante en textile et orienta sa production vers l'exportation. Cette industrie en pleine croissance consommait alors environ 50.000 tonnes de fibre de coton annuellement. Considérée aujourd'hui comme le premier secteur manufacturier du pays en terme de produit brut, ses besoins en matière première sont passés à près de 400.000 t (Annexe 1.1).

Mais le volume croissant de fibre traitée a toujours largement reposé sur les importations. En effet, la production nationale en dents de scie ne couvrait qu'un faible pourcentage de la consommation (Figure 1.1).

### ■ *Les hauts et les bas de la production cotonnière thaïlandaise*

Deux facteurs contribuèrent à l'essor de la culture cotonnière à partir des années 50, le développement de l'industrie textile nationale qui encouragea la production locale de matière première mais aussi l'ouverture de nouvelles zones agricoles de piémont gagnées sur la forêt. La riziculture irriguée avait atteint les limites géographiques des zones de bas-fond où elle était praticable. Jusqu'alors, sa croissance était fondée sur l'expansion des terres cultivées sans évolution technique majeure. Les rendements moyens régressaient donc à mesure que les

**Figure 1.1.** Consommation de fibre de coton par l'industrie textile, et niveau de couverture des besoins par la production nationale en Thaïlande.



Sources: *Division of agricultural economics*, Ministère de l'agriculture et des coopératives de Thaïlande et *Textile industry division*, Ministère de l'industrie.

terres moins propices au riz étaient exploitées après défrichage. L'après guerre vit une intensification des systèmes rizicoles de la Plaine Centrale associée à une diversification des productions agricoles sur les zones de piémont à sa périphérie (SILCOCK, 1969).

La principale zone cotonnière était traditionnellement le Nord-Est, où la culture de variétés rustiques était orientée vers l'autoconsommation familiale. Au sortir de la Seconde Guerre mondiale, 70% des surfaces étaient situées dans ces régions enclavées alors que le reste était réparti de façon égale entre le Nord et le Centre. Au milieu des années soixante, l'apparition de variétés améliorées associées aux 'nouvelles techniques de production' permirent la diffusion rapide de la culture parmi les petits agriculteurs des zones de front pionniers, faisant progresser la production de coton-graine de 23.000 tonnes en 1950 jusqu'à un pic de 156.000 tonnes en 1968 avant de chuter brusquement au début des années soixante-dix (Figure 1.2). Cette expansion toucha de façon privilégiée les zones de piémont situées à la périphérie de la Plaine centrale qui représentèrent jusqu'à 60 à 70% des surfaces contre 20 à 30% seulement pour le Nord-est. Malgré les réserves formulées sur l'exactitude des statistiques officielles, il est largement admis que la croissance de la production cotonnière jusqu'en 1968 fut le fait d'une augmentation des surfaces cultivées et non pas d'un accroissement marqué des rendements.

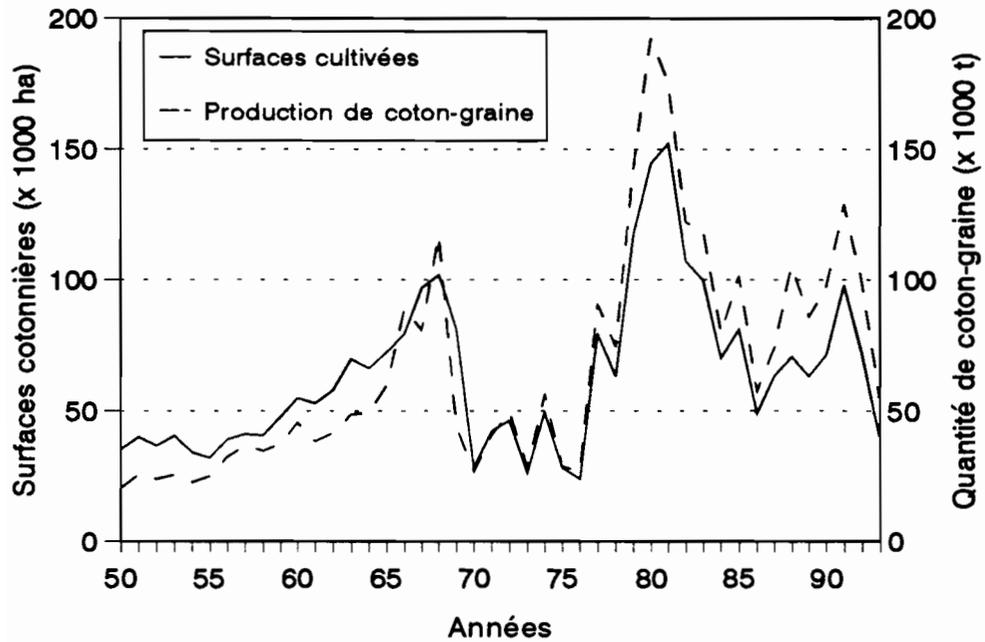
La première crise cotonnière, à la fin des années soixante, affecta largement les régions les plus récemment mises en valeur, augmentant la part relative du Nord-est dans la production nationale (jusqu'à 50% environ). Le développement des populations d'insectes ravageurs était tel que la rentabilité de la culture se dégrada, poussant les agriculteurs à diversifier leurs systèmes de production. Le maïs ainsi que différentes légumineuses (soja, haricot noir, haricot mungo) ne permettaient pas de dégager des revenus aussi substantiels que le cotonnier mais constituaient des alternatives intéressantes à ce dernier car moins risquées et moins exigeantes en travail. Dans le Nord-Est, c'est le manioc qui s'imposa comme culture de substitution alors que dans la Plaine centrale, l'expansion du réseau d'irrigation, qui ouvrait de nouvelles perspectives d'intensification, faisait reculer la zone géographique du cotonnier, culture spécifiquement pluviale en Thaïlande.

La production stagna alors pendant plusieurs années, rythmée par l'ouverture de nouveaux fronts pionniers, ou par le prix de la fibre sur le marché mondial qui faisait varier localement la compétitivité de la culture. Mais la fin des années soixante-dix vit un nouveau bond de la production cotonnière nationale: 192.000 t de coton-graine en 1981, lié au développement rapide de la filière textile, à la mise au point de variétés à fort potentiel (Sri Samrong 2)<sup>1</sup> mais surtout à l'apparition d'une nouvelle classe d'insecticides: les pyréthrinoïdes.

---

<sup>1</sup> Encore aujourd'hui l'une des variétés les plus cultivées de Thaïlande.

**Figure 1.2.** Evolution des surfaces cotonnières et des rendements en coton-graine à l'échelle nationale sur la période 1950-1993.



*Source: Division of agricultural economics, Ministère de l'agriculture et des coopératives de Thaïlande.*

Cependant, l'objectif d'indépendance des importations de fibre, affiché par le gouvernement dans les plans quinquennaux successifs, ne fut pas atteint (Tableau 1.1). Comme 10 ans auparavant, les problèmes parasitaires ont peu à peu amoindri la marge bénéficiaire des agriculteurs, condamnés à une consommation croissante d'insecticides, et mis fin à la formidable extension des surfaces cultivées (Figure 1.3)<sup>1</sup>.

### ■ *Le cotonnier, une culture rentable?*

La viabilité économique des systèmes cotonniers était donc à nouveau remise en question. Les coûts de production avaient augmenté brusquement durant la période 'faste' du début des années quatre-vingt mais se sont stabilisés par la suite. La cessation des agriculteurs les moins expérimentés, a sans doute contribué à la réduction des dépenses en intrants au niveau national. Cependant, à la même période, les cours mondiaux de la fibre diminuaient, entraînant dans leur chute le prix du coton payé au producteur thaï (Figure 1.4). Ce phénomène incita bon nombre d'entre eux, souvent endettés après plusieurs saisons défavorables, à abandonner la culture cotonnière. Ceci d'autant plus que le boom industriel de Bangkok drainait une main d'oeuvre rurale toujours plus abondante, attirée par les possibilités de travail salarié (SIAMWALLA *et al.*, 1991; TREBUIL, 1993).

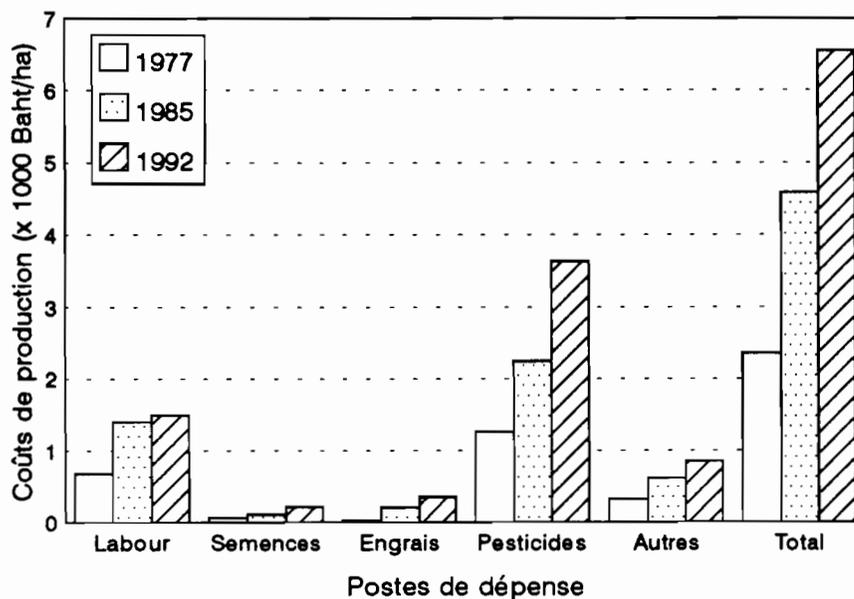
---

<sup>1</sup> L'exactitude des statistiques agricoles officielles les plus anciennes (fournies par différents services du Ministère de l'agriculture et des coopératives selon les périodes) a été sévèrement critiquée par différents auteurs (BANGKOK BANK, 1970; SILCOCK, 1970 et GRIMBLE, 1971). Il semble qu'elles soient systématiquement surévaluées. Ces dernières années, les données officielles concernant la culture cotonnière sont le fruit d'une concertation entre trois administrations différentes (POCHANAKUL, comm. person.). Le *Department of Agricultural Extension* intervient par l'intermédiaire de représentants locaux qui évaluent les rendements ainsi que les surfaces effectivement récoltées à l'échelle du sous-district. Une compilation est ensuite réalisée par les services de vulgarisation des districts puis de la province. C'est à ce niveau que les statistiques sont parfois «revues à la hausse» car elles conditionnent les demandes budgétaires de l'année suivante. La *Division of Agricultural Economics* du Ministère de l'agriculture effectue un recensement annuel sur les surfaces emblavées. Les niveaux de production sont alors évalués, par province, grâce aux données de rendement fournies par les services de vulgarisation. Ils sont souvent surestimés car il n'est pas tenu compte des pertes de rendement en cours de saison (souvent élevées en culture cotonnière). Ainsi, la moitié des surfaces ont été détruites par la sécheresse en 1993 conduisant à des écarts importants entre les données brutes avancées par les deux organismes: 32.000 ha récoltés pour le *Department of Agricultural Extension* contre 65.000 ha pour la *Division of Agricultural Economics*. Cependant, depuis 4 ans, la *Division of Textile Industry Promotion* du Ministère de l'industrie est chargée de vérifier les données officielles en se fondant sur le volume de coton-graine traité par les usines d'égrenage. En conséquence, les statistiques antérieures à 1989 doivent être considérées avec précaution. Elles sont présentées ici à titre indicatif des changements ou des grandes tendances de l'agriculture thaï durant les quarante dernières années.

**Tableau 1.1.** Présentation des objectifs annuels de production cotonnière assignés au cours des plans quinquennaux successifs des gouvernements thaïs et les niveau effectivement réalisés.

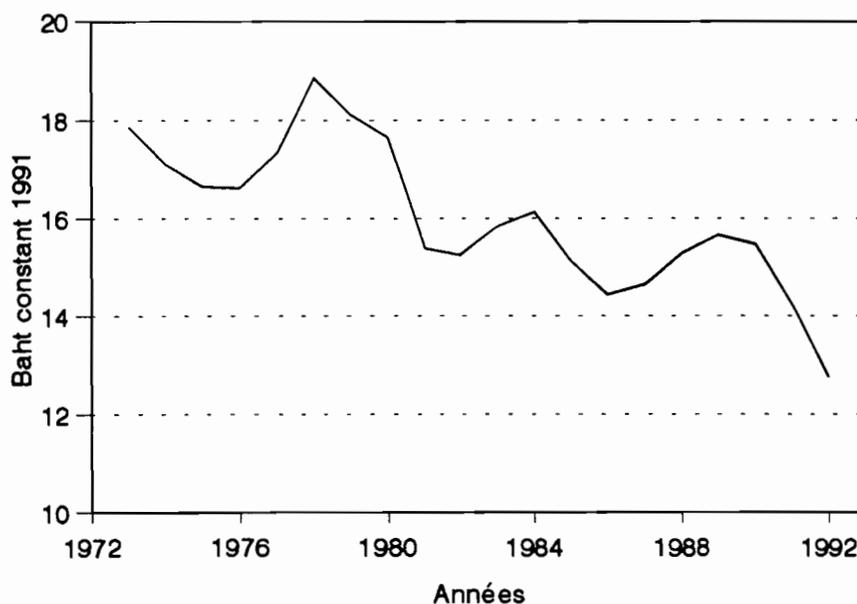
Plan National de Développement Economique et Social	Production effectivement réalisée		Objectifs de production (tonnes de coton-graine)
	(tonnes de coton-graine)	(% de l'objectif de production)	
1961 - 1966	88 800	99.8	89 000
1967 - 1971	40 500	45.0	90 000
1972 - 1976	28 700	14.4	200 000
1977 - 1981	192 600	94.0	205 000
1982 - 1986	57 300	14.3	400 000
1987 - 1992	99 200	67.8	158 000

**Figure 1.3.** Evolution des coûts de production du coton-graine en Thaïlande: distribué selon les postes de dépenses.



*Source:* Division of agricultural economics, Ministère de l'agriculture et des coopératives de Thaïlande.

**Figure 1.4.** Evolution du prix du coton-graine payé aux producteurs (en Baht constant 1991).



*Source:* Division of agricultural economics, Ministère de l'agriculture et des coopératives de Thaïlande.

## ■ *La protection phytosanitaire est dans une impasse*

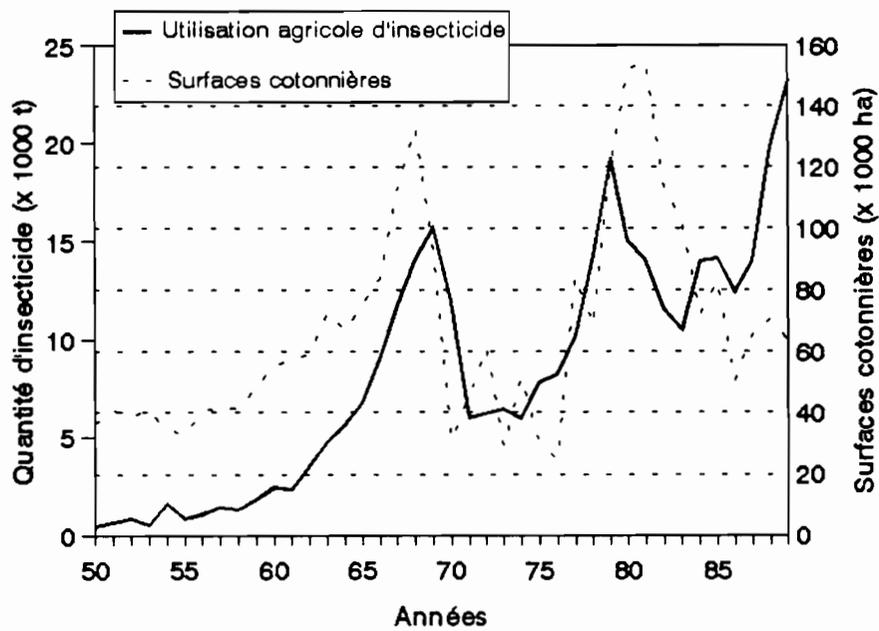
Pour relancer la production cotonnière nationale, le gouvernement a lancé plusieurs campagnes de promotion de cette culture, par l'intermédiaire des services de vulgarisation agricole. Mais il semble que les échecs successifs soient dus de façon invariable à un problème de maîtrise technique de la protection phytosanitaire. La perte de compétitivité économique n'est qu'un révélateur de ce malaise.

En effet, c'est par la culture cotonnière que le paradigme chimiothérapique (SAVARY et TENG, 1994) a été introduit dans l'agriculture thaï. Les premiers insecticides importés, outre ceux utilisés en santé publique pour le contrôle des moustiques responsables du paludisme, ont été systématiquement appliqués sur des cotonniers (BANGKOK POST, 1979). D'ailleurs, la courbe d'utilisation d'insecticide est étroitement liée à celle de la production cotonnière jusqu'à ces dernières années (Figure 1.5). Des quantités toujours plus importantes de produits phytosanitaires ont été appliquées. Dès la fin des années soixante, des phénomènes de résistance des ravageurs ont été relevés vis-à-vis des insecticides du groupe des organochlorés: DDT, Endrine et Toxaphene, notamment.

FALCON et SMITH (1973) puis BOTTRELL et ADKISSON (1977) ont analysé l'évolution de la contrainte parasitaire. Ils révèlent un processus agroécologique commun à plusieurs grandes zones cotonnières de par le monde. Il s'agit de phénomènes récurrents qui mènent d'un épisode de subsistance (fondé sur des variétés rustiques faibles consommatrices d'intrants) jusqu'à une période plus récente totalement dépendante des pesticides. Six étapes principales ont été identifiées: (1) *phase de subsistance*, (2) *contrôle écologique des ravageurs* faisant appel à différentes techniques culturales pour limiter les dégâts d'insectes, (3) *phase d'exploitation* correspondant à un recours massif à la protection chimique, (4) phase de crise consécutive à l'apparition de résistances des ravageurs aux produits utilisés, (5) *désastre* lorsque les populations ne sont plus contrôlables et enfin (6) *lutte intégrée*, conséquence d'une prise de conscience collective de la nécessité d'une gestion rationnelle de la contrainte phytosanitaire.

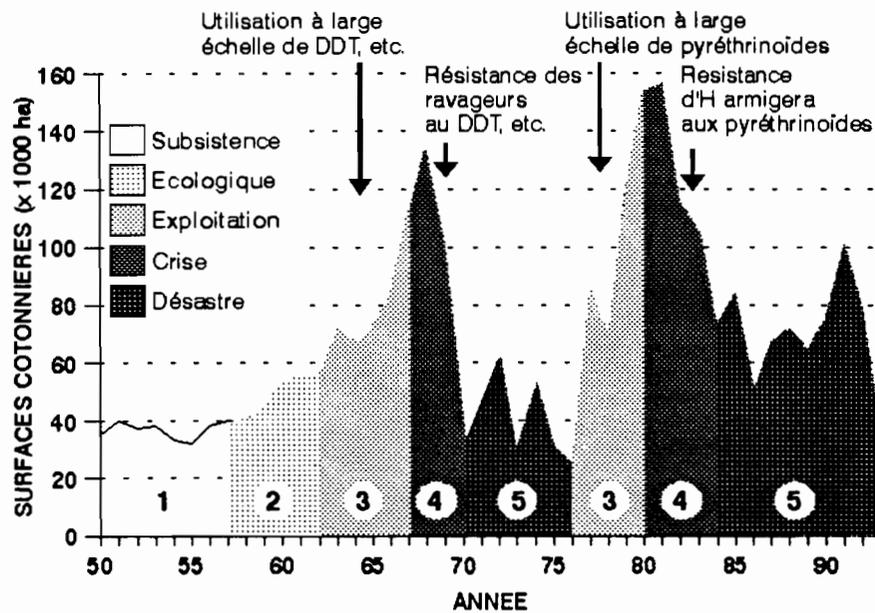
La Thaïlande traversa toutes ces épreuves une première fois de 1950 à 1975 (Figure 1.6). A la fin de cette période, DEEMA *et al.* (1974) prônaient le contrôle biologique des ravageurs du cotonnier et montraient que la réduction du nombre d'application insecticide était plus profitable économiquement que les pratiques de l'époque (le nombre de 20 pulvérisations par saison était dépassé). Mais ces considérations furent rapidement oubliées lorsque de nouvelles molécules insecticides apparurent sur le marché: les pyréthrinoïdes, qui montraient une efficacité remarquable contre des chenilles d'*Helicoverpa armigera* sur lesquelles le DDT était devenu sans effet. La principale contrainte à la production cotonnière étant levée, les surfaces cultivées atteignirent leur maximum historique en 1982 avant de rechuter en trois ans, dans les mêmes conditions qu'au cours du cycle précédent. L'histoire de la culture cotonnière en Thaïlande est aujourd'hui

**Figure 1.5.** Evolution de l'utilisation agricole d'insecticides dans l'agriculture, et surfaces cotonnières en Thaïlande (1950-1989).



Source: *Division of agricultural economics*, Ministère de l'agriculture et des coopératives de Thaïlande.

**Figure 1.6.** Phases historiques des modes de gestion de la contrainte phytosanitaire sur cotonnier et évolution des surfaces cultivées en Thaïlande.



Source: *Division of agricultural economics*, Ministère de l'agriculture et des coopératives de Thaïlande.

devenu un cas d'école dans le domaine de la résistance des insectes ravageurs aux produits phytosanitaires (MATTHEWS, 1989; COX et FORRESTER, 1992).

Ce retour en arrière incite à prendre en considération les solutions proposées par la recherche dans le cadre de la lutte intégrée. En effet, il existe un certain nombre d'alternatives à l'utilisation massive des pesticides. Ces dernières consistent par exemple à développer les facteurs de résistance de la plante hôte (le cotonnier) vis à vis des ravageurs ou à maintenir les populations d'insectes à des niveaux économiquement acceptables grâce à des pratiques culturales adaptées : contrôle biologique des ravageurs, gestion des insectes auxiliaires, utilisation raisonnée de produits insecticides, par exemple. Ces techniques ont montré, dans le cadre de programmes de protection intégrés conduits en station ainsi qu'en milieu paysan, qu'il est possible de produire du coton de façon durable en respectant les contraintes écologiques et économiques auxquelles les producteurs sont confrontés. La lutte intégrée est donc aujourd'hui dans tous les discours académiques, comme elle l'était au début des années soixante-dix avant d'être littéralement balayée par l'apparition des insecticides du groupe des pyréthrinoides. Cependant, elle n'a jamais encore été appliquée par les agriculteurs thaïs bien qu'ils y soient sensibilisés par les services de vulgarisation (DIVISION OF AGRICULTURAL ECONOMICS, 1989; NAPOMPETH, 1993).

Le comportement des agriculteurs face au risque phytosanitaire est souvent considéré par les chercheurs et les vulgarisateurs, comme un obstacle à la mise en oeuvre de programmes de lutte intégrée (REDDY *et al.*, 1990; CAUQUIL et VAISSAYRE, 1993). En conséquence, bon nombre de recommandations ne sont pas adoptées par les producteurs car celles-ci se focalisent sur le contrôle des ravageurs du cotonnier où sur la réduction des dégâts qu'ils occasionnent avant de prendre en compte les objectifs et les besoins des utilisateurs potentiels. **Une meilleure compréhension de la rationalité des pratiques paysannes dans le domaine de la protection de la culture devrait être un préalable obligé à la conception de programmes de lutte intégrée adaptés à des contextes de production diversifiés.**

**L'approche proposée ici s'est attachée à considérer l'agriculteur comme l'acteur central du processus d'évolution vers la gestion intégrée des ravageurs. La démarche consiste à réaliser un diagnostic sur le contexte actuel de production cotonnière, comprendre les phénomènes qui ont conduit à la situation de crise présentée ci-dessus et proposer des alternatives capables d'améliorer la durabilité des systèmes cotonniers.**

Nous articulons notre étude selon trois étapes successives :

- Dans une première partie, nous ferons le point sur les connaissances acquises dans le domaine de la gestion des contraintes phytosanitaires en culture cotonnière, à travers une approche bibliographique (Chapitre 2).

- Une problématique de recherche, appliquée au cas thaïlandais, sera ensuite développée à la lumière des questions scientifiques abordés dans la partie précédente (Chapitre 3).
- Les résultats des travaux menés dans le cadre de cette thèse seront ensuite décomposés selon quatre échelles d’appréhension du problème : régionale, parcelle, système de culture, système de production (Chapitres 4 à 6).

Pour conclure, nous aborderons les résultats sectoriels de manière synthétique, et tacherons d’en tirer des propositions directement opératoires ainsi que des voies de recherche à approfondir (Chapitre 7).

# **Analyse bibliographique :**

Les contraintes phytosanitaires  
en culture cotonnière



<b>2. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE :</b>	<b>17</b>
LA GESTION DES CONTRAINTES PHYTOSANITAIRES EN CULTURE COTONNIERE	
<b>2.1 Agro-physiologie du cotonnier</b>	<b>17</b>
2.1.1 La morphologie du cotonnier : combinaison des processus de croissance et de développement	18
2.1.1.1 <i>Morphogenèse</i>	18
2.1.1.2 <i>Photosynthèse et distribution des assimilats</i>	21
2.1.2 Les facteurs limitants de l'élaboration du rendement	21
2.1.2.1 <i>L'arrêt de la phase reproductrice</i>	22
2.1.2.2 <i>Rôle des facteurs du milieu sur le processus d'élaboration du rendement</i>	25
2.1.3 Conséquences des caractéristiques agro-physiologiques du cotonnier pour l'étude des interactions plante - ravageurs	27
<b>2.2 Le complexe parasitaire en culture cotonnière</b>	<b>29</b>
2.2.1 Les insectes piqueurs-suceurs	29
2.2.2 Les chenilles	31
2.2.2.1 <i>Les chenilles phyllophages</i>	31
2.2.2.2 <i>Les chenilles carpophages</i>	32
2.2.3 Prise en compte de la composition du complexe parasitaire du cotonnier pour l'étude des interactions plante - ravageurs	33
<b>2.3 La gestion intégrée des contraintes phytosanitaires</b>	<b>35</b>
2.3.1 Notions de dégâts, dommages et pertes	35
2.3.2 Modélisation des contraintes phytosanitaires	38
2.3.2.1 <i>Les méthodes d'analyse quantitatives</i>	38
2.3.2.2 <i>Les méthodes d'analyse qualitatives</i>	40
2.3.2.3 <i>Evaluation des modèles et domaines de validité</i>	41
2.3.3 Approche théorique de la gestion des contraintes phytosanitaires	41
2.3.3.1 <i>L'aide à la décision</i>	41
2.3.3.2 <i>La théorie des seuils d'intervention</i>	44
2.3.4 La gestion de la contrainte phytosanitaire	48
2.3.4.1 <i>Gestion de la contrainte phytosanitaire à la parcelle</i>	49
2.3.4.2 <i>Gestion de la contrainte phytosanitaire à l'échelle de l'agroécosystème</i>	49
2.3.4.3 <i>Les acteurs</i>	54
2.3.5 Conclusions	58

## 2. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE :

### LA GESTION DES CONTRAINTES PHYTOSANITAIRES EN CULTURE COTONNIERE

---

Ce chapitre a pour objectif de faire le point sur les connaissances scientifiques acquises dans le domaine de la gestion intégrée de la contrainte phytosanitaire en culture cotonnière.

L'emploi du mot « intégré » suppose que l'on aborde de façon concomitante différents aspects des interactions continues entre, d'une part, les processus de la production végétale, et d'autre part, les dynamiques de populations de ravageurs. Aussi, la complexité des phénomènes qui contribuent au rendement final justifie d'adopter une démarche systémique (TENG et SAVARY, 1992). Un système est une abstraction, constituée par une fraction délimitée de la réalité où interagissent un certain nombre d'éléments. Un modèle est une représentation, souvent sous forme mathématique, d'un système. Il incorpore les éléments et les relations entre ces éléments, qui sont considérés avoir une influence majeure sur le comportement du système (FORRESTER, 1961; DE WIT et GOUDRIAAN, 1978). Il permet d'acquérir de la connaissance sur un objet ou une problématique complexe puis de la formaliser de manière synthétique.

Dans le cas des interactions plante - ravageurs, cette démarche consiste à réduire le système en sous-unités plus simples (peuplement végétal, populations d'insectes, etc.) qui sont analysées séparément. L'approche systémique conduit ensuite à intégrer ces composantes, à différentes échelles d'appréhension du problème ou selon différents pas de temps, de façon à proposer des méthodes de protection de la culture en interface avec plusieurs disciplines scientifiques (entomologie, génétique, agronomie, sciences sociales, etc.).

#### 2.1 AGRO-PHYSIOLOGIE DU COTONNIER

Nous limiterons notre étude au cotonnier d'espèce *Gossypium hirsutum*, qui fournit la majeure partie de la matière première traitée par les industries textiles de par le monde. D'autres espèces sont aussi cultivées de façon traditionnelle en Asie, notamment *Gossypium arboreum*, que l'on trouve dans le Nord de la Thaïlande mais aussi au Laos, au Vietnam, etc. Cependant, bien que très rustiques, ces espèces sont confinées à quelques zones marginales en raison des caractéristiques technologiques de la fibre peu adaptées au traitement industriel (CASTELLA *et al.*, 1993; TREBUIL *et al.*, 1994).

De nombreux travaux de recherche ont été consacrés à la physiologie du cotonnier avec pour objectif d'évaluer la contribution de différents aspects du fonctionnement de la plante (photosynthèse, nutrition hydrique et minérale, abscission d'organes fructifères, etc.) à l'élaboration du rendement. Historiquement, deux approches distinctes ont été proposées pour aborder le problème, l'une ayant trait au processus de développement, l'autre à la croissance (HEARN et CONSTABLE, 1984).

Les tenants de la première ont cherché à expliquer le rendement et ses variations en terme d'événements phénologiques: initiation et rétention d'organes fructifères, stades de développement successifs (FARBROTHER, 1952; WILSON *et al.*, 1972).

D'autres physiologistes ont considéré le rendement comme une expression de l'activité photosynthétique par l'intermédiaire de la croissance, elle même exprimée comme une augmentation de la biomasse et de la matière sèche de la plante (CROWTHER, 1934; HEATH, 1937). L'analyse de la répartition des assimilats issus de la photosynthèse entre les différents organes a introduit la notion de 'puits - sources' dans une description dynamique de la physiologie du cotonnier.

Cependant, l'intégration des processus de croissance et de développement s'est montrée indispensable pour expliquer le phénomène d'abscission d'organes fructifères. En effet, d'importantes pertes de bourgeons floraux et jeunes capsules surviennent lorsque la demande en carbohydrates excède l'offre, mesurée grâce au taux de croissance de la culture (HEARN, 1972). Ces deux notions ont par la suite été intégrées à des modèles de simulation capables de décrire le comportement du cotonnier soumis à un environnement biophysique variable (BAKER *et al.*, 1976; WANG *et al.* 1977; JONES *et al.*, 1980; MCKINION et BAKER, 1989; HEARN, 1994).

### ***2.1.1 La morphologie du cotonnier: combinaison des processus de croissance et de développement***

#### **2.1.1.1 Morphogenèse**

Le cotonnier est originellement une plante pérenne dont le cycle cultural a été réduit à une seule saison de manière à accroître sa productivité. Sa croissance est de nature indéterminée: la tige principale ne se termine pas en inflorescence mais produit de nouveaux noeuds tous les 2 à 4 jours, selon la température. En effet, comme pour beaucoup d'autres plantes, ce facteur climatique peut être considéré comme un moteur du développement. L'apparition de nouveaux bourgeons axillaires le long de la tige principale est liée à la température cumulée exprimée en degrés jours (HESKETH *et al.*, 1972). Le calcul est effectué sur une base de 12°C en-dessous de laquelle on n'observe pas de développement physiologique (CONSTABLE, 1976). Pour des températures comprises entre 20 et 35°C le potentiel de formation des noeuds est estimé à 1 tous les 40°C (HEARN, 1969). A chaque niveau deux bourgeons axillaires

sont émis, mais généralement un seul se développe donnant une répartition alterne des branches (Figure 2.1).

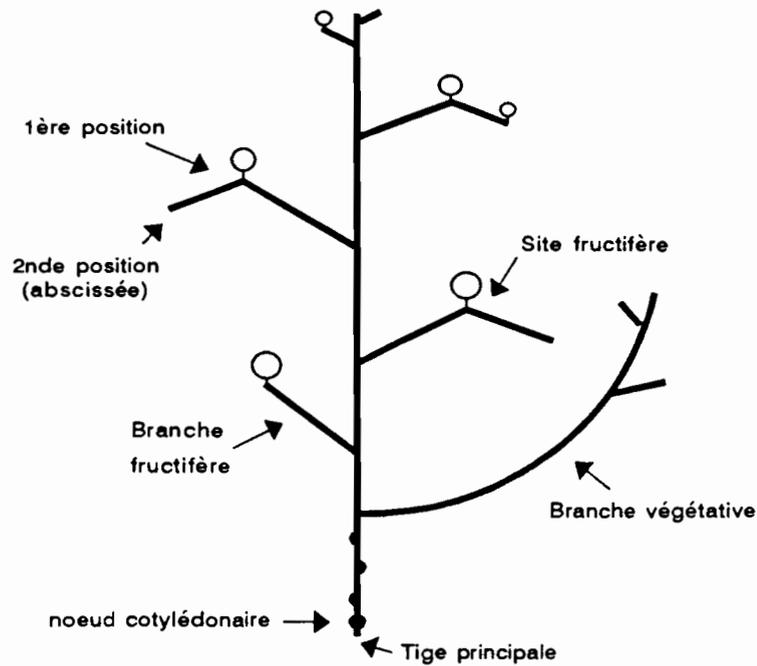
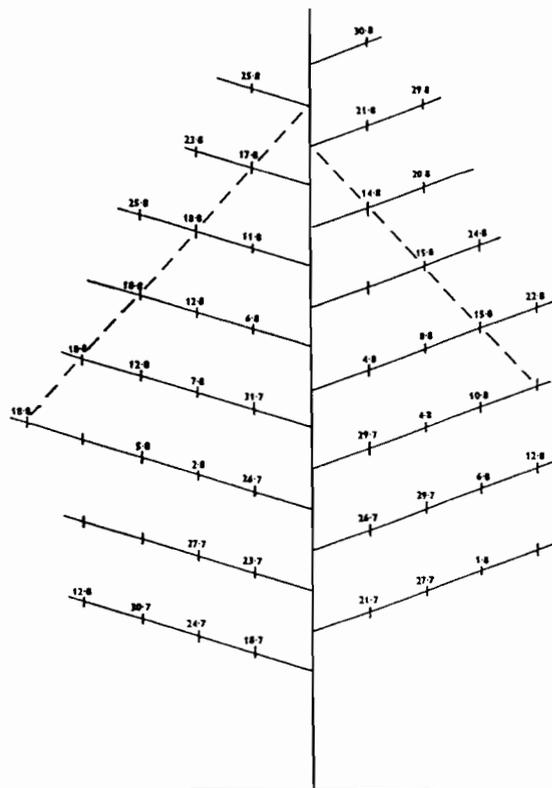
Le premier noeud observé à la base de la tige principale correspond à l'emplacement des cotylédons de la plantule. La proportion des premiers noeuds formés qui conduisent à des branches végétatives est influencée par la densité de plantation. Dans le contexte thaïlandais, on observe en moyenne 5 noeuds végétatifs avant l'initiation des branches fructifères (CROZAT *et al.*, 1994). Lorsque le peuplement végétal est placé en conditions de nutriments hydrique et minérale non limitantes, les faibles densités de plantations pratiquées favorisent un fort développement végétatif. Il n'est pas rare dans ces conditions de trouver des noeuds porteurs de deux branches, l'une végétative, l'autre fructifère (DORAS, 1992).

L'initiation florale, et par voie de conséquence la position de la première branche fructifère, est influencée par la température, la photopériode et le génotype (MAUNEY, 1979). Les premiers bourgeons floraux apparaissent vers 45 jours (ou 600 degrés jours) et la première fleur à 60 jours environ, soit 800 degrés jours après la levée. Des branches fructifères secondaires se forment ensuite sur les branches végétatives avec un décalage dans le temps par rapport à la tige principale. Les branches végétatives pourraient être assimilées dans leur fonctionnement au talle d'une graminée.

Chaque branche fructifère est constituée d'un segment initial terminé par un bourgeon fructifère et une feuille. Son développement s'opère grâce à un bourgeon axillaire compris entre les deux premiers organes formés. Ce bourgeon produit le segment suivant, qui à son tour se termine par deux bourgeons: fructifère et axillaire ainsi qu'une feuille. Le développement des bourgeons axillaires successifs peut se répéter indéfiniment, donnant une forme en zigzag aux branches fructifères. Le taux de production des bourgeons floraux le long d'une branche est constant et lié au taux de formation de nouveaux noeuds sur la tige principale par un facteur 2.75. Autrement dit, lorsqu'une branche fructifère produit 1 segment, la tige principale forme 2.75 noeuds.

Ces caractéristiques morphogénétiques ont des conséquences importantes sur les méthodes de suivi de l'élaboration du rendement (MUNRO et FARBROTHER, 1969; FRANQUIN, 1985; HAKE *et al.*, 1991). En effet, l'architecture du cotonnier peut être considérée comme une représentation figée de son histoire. Les organes fructifères du même âge physiologique sont répartis selon deux axes imaginaires ayant leur origine sur la tige principale (Figure 2.2). Il est ainsi possible de dater des événements intervenus au cours du développement à partir de relevés morphologiques des plants effectués à des périodes clef du cycle cultural (KERBY et HAKE, 1994).

Dans la mesure où la production de branches fructifères et de bourgeons floraux sont liés à la formation des noeuds sur la tige principale (elle-même contrôlée par la température) la morphogenèse dans son ensemble est pilotée par la température (HEARN et CONSTABLE, 1984).

**Figure 2.1.** Morphologie du cotonnier.**Figure 2.2.** Dates de floraison sur un cotonnier selon la position des sites fructifères. Les notations 18.7 à 30.8 correspondent aux dates du 18 Juillet au 30 Août. Les lignes en pointillés joignent les fleurs formées à la même période. Les noeuds non datés correspondent à des bourgeons abscissés avant floraison. (d'après MCCLELLAND, 1916).

### 2.1.1.2 Photosynthèse et distribution des assimilats

En principe, la phase végétative s'achève avec l'apparition du premier bourgeon floral. Mais en raison de la nature indéterminée du développement, la croissance et la phase reproductrice sont étroitement liées. En effet, la formation de chaque nouvel organe fructifère est associée à une feuille et à un internoeud. La croissance de la surface foliaire (et de l'indice foliaire : LAI) est associée à la morphogenèse selon une relation de forme sigmoïde (MUTSAERS, 1983). Un pic de LAI intervient vers 3 à 5 semaines après le début de la floraison et varie de 0.5 pour une culture soumise à un stress sévère jusqu'à 6 dans des conditions de milieu non limitantes (CONSTABLE, 1986). Chaque feuille alimente en assimilats les puits les plus proches (PEOPLES et MATTHEWS, 1981).

En situation de stress hydrique ou minéral, les organes présents sur les positions basses sont alimentés de façon prioritaire (CONSTABLE et RAWSON, 1980). Ainsi, un ombrage prolongé peut conduire à l'abscission des organes fructifères les plus récemment formés. L'activité photosynthétique contrôle non seulement la croissance végétative du cotonnier mais aussi la capacité de rétention des organes fructifères (volume total de puits reproducteurs que la plante peut amener jusqu'à maturité). En conditions limitantes, le jeu des relations entre sources et puits affecte la distribution des assimilats et peut stopper le développement de la plante (HUXLEY, 1964).

De nombreux modèles de simulations appliqués à la physiologie du cotonnier intègrent donc la photosynthèse. Leur objectif est de décrire le fonctionnement de la plante à partir de l'observation du milieu biophysique: rayonnement solaire, température, alimentation hydrique et minérale, etc. (GUTIERREZ *et al.* 1975; WHISLER *et al.*, 1986; WANJURA et BARKER, 1988; MCKINION et BAKER, 1989; HEARN, 1994).

### ***2.1.2 Les facteurs limitants de l'élaboration du rendement***

Le modèle de développement physiologique présenté ci-dessus ne semble imposer aucune limite morphologique au nombre de fleurs produites, à leur taux de formation et finalement au rendement. Mais il existe des facteurs de réduction de ces potentialités qui n'apparaissent pas lorsque les processus morphogénétiques (contrôlés par la température, et la photosynthèse, elle-même pilotée par le rayonnement solaire), sont abordés indépendamment les uns des autres. En réalité, ils opèrent en parallèle par le biais des relations sources - puits et exercent un contrôle l'un sur l'autre (HEARN et CONSTABLE, 1984).

### 2.1.2.1 L'arrêt de la phase reproductrice

Les besoins en assimilats des structures en croissance augmentent de façon proportionnelle au développement morphologique de la plante. Cependant, la production d'assimilats est limitée, d'abord par la quantité de rayonnement solaire interceptée par le feuillage, ensuite par l'intensité du rayonnement lui-même. Le décalage entre l'offre en hydrates de carbonés et la demande des organe en croissance est donc inévitable à un moment ou à un autre.

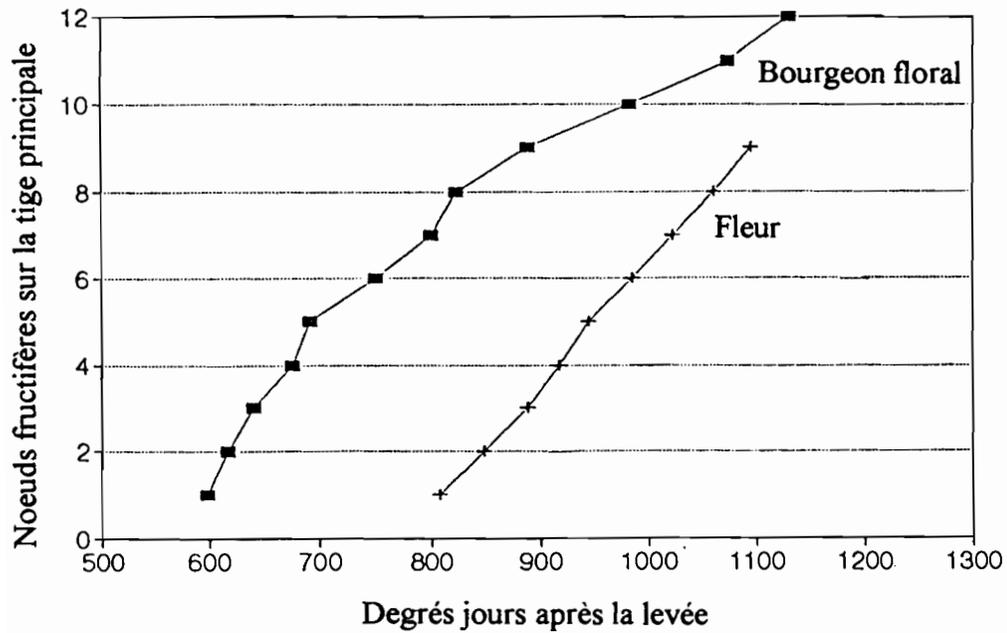
On observe une compétition entre les différents puits pour une ressource limitée. La plante répond en réduisant le taux de développement (notamment la production de nouveaux bourgeons floraux) et en diminuant le nombre de capsules formées (celles dont la maturation n'est pas assurée sont abscissées). Ce processus peut conduire jusqu'à l'arrêt de la production de sites; c'est la fin de la phase reproductrice ou '*cut out*' anglo-saxon. Elle correspond au point où les courbes de formation de sites fructifères et de floraison se rejoignent (Figure 2.3). Ce graphe montre aussi que les bourgeons situés les plus hauts sur le plant, les derniers formés, fleurissent plus rapidement que ceux des positions basses. De plus, avec l'augmentation du chargement en capsules, la quantité d'assimilats disponible pour les organes les plus jeunes diminue.

Ces phénomènes contribuent à expliquer la réduction de la taille des capsules vers le haut de la tige principale et sur les branches à mesure qu'elles s'étendent vers l'extérieur (MORRIS, 1964; CONSTABLE et GLEESON, 1977). Cependant, pour une variété donnée, le nombre de capsules récoltées varie beaucoup plus que le poids moyen capsulaire (CONSTABLE, 1991). Le nombre d'organes fructifères qui parviennent à maturité détermine donc largement le rendement.

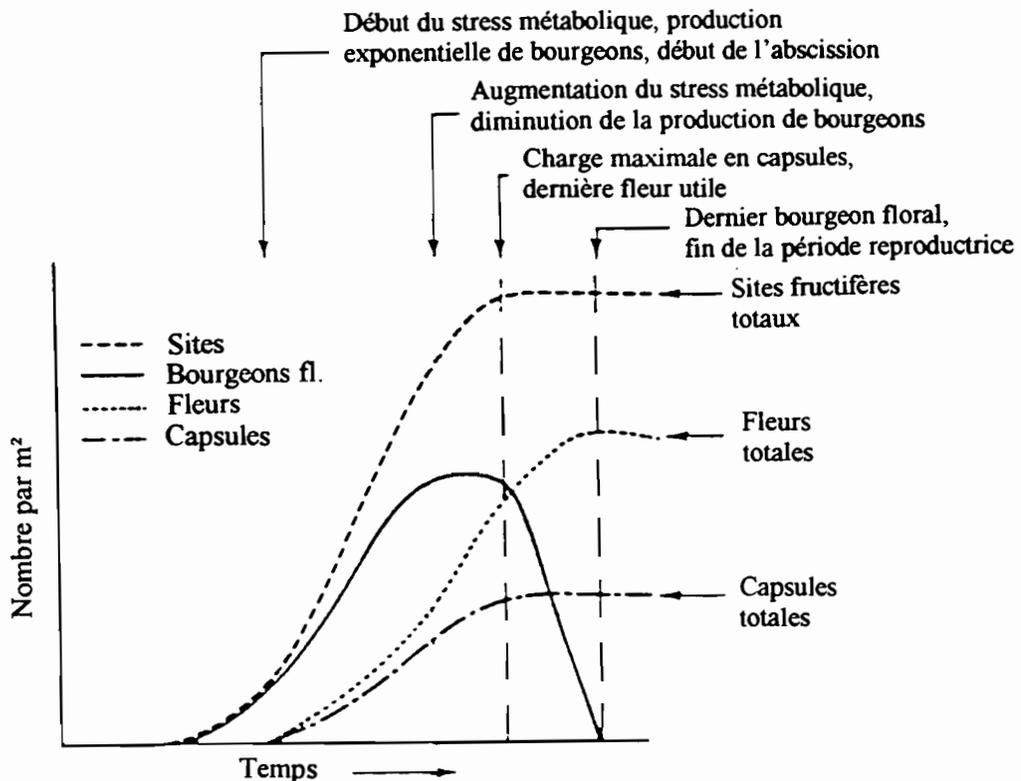
L'élaboration du rendement est un processus continu, que l'on peut décomposer en une production de sites fructifères (associée au développement végétatif) et des interactions entre ces organes reproducteurs en croissance entraînant l'abscission d'un grand nombre d'entre eux. Un même niveau de production peut être atteint par des voies différentes, combinaisons d'un taux de formation de capsules et d'un pourcentage de rétention (CROZAT *et al.*, 1994). L'intégration de ces phénomènes sur un cycle cultural est représentée sur la Figure 2.4.

Différents modèles de développement, fondés sur la compétition entre organes pour les assimilats ont été développés (WALLACH, 1978; HEARN *et al.*, 1981). Ils décrivent des relations entre le chargement en capsules de la plante, la formation de nouveaux sites fructifères et le devenir des organes reproducteurs déjà formés. La structure du modèle SIRATAC (HEARN et DA ROZA, 1985), est décrite Figure 2.5. Elle consiste en quatre variables d'état (nombre de sites, nombre de bourgeons floraux, nombre de capsules en croissance puis mûres) et trois processus (production de sites, développement des organes fructifères et leur devenir: abscission ou maturation). Ces

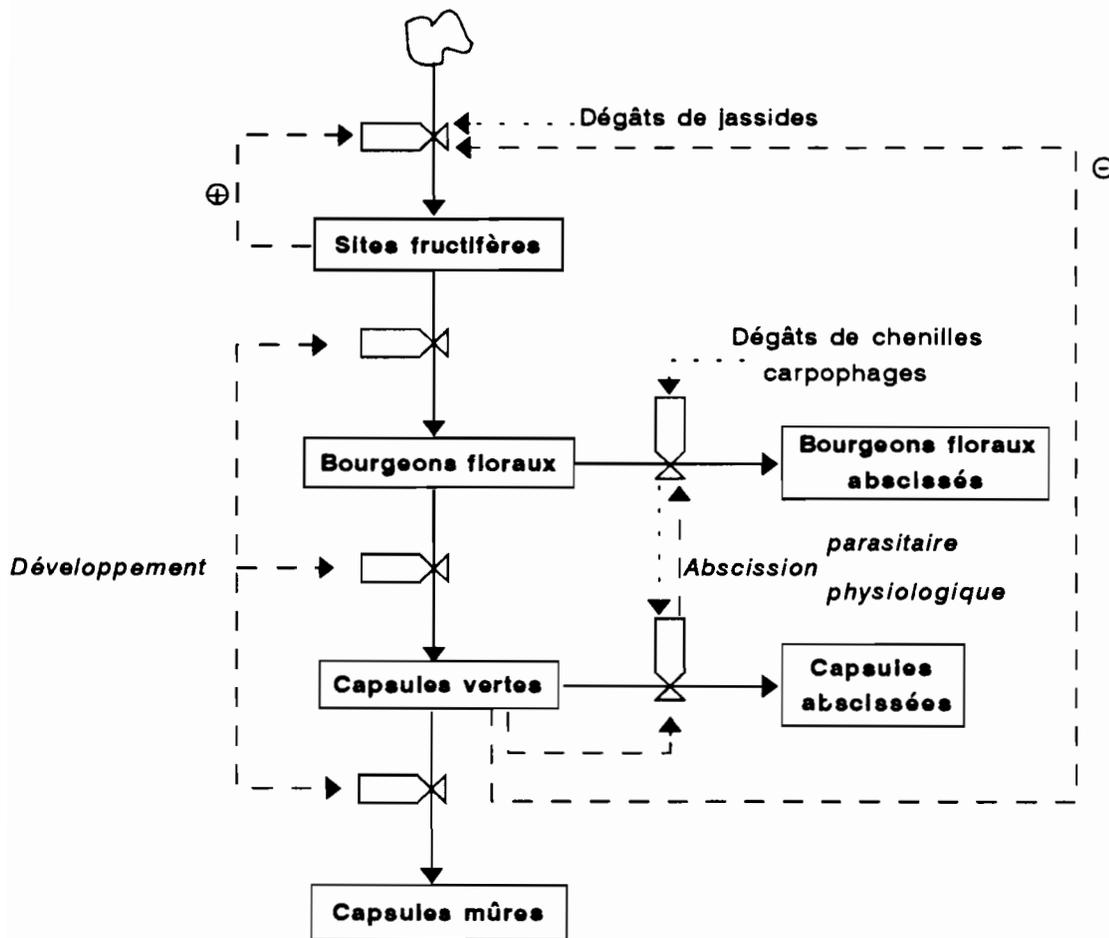
**Figure 2.3.** Progression de l'apparition des bourgeons floraux et de la floraison (en position P1 sur les branches fructifères) le long de la tige principale, pour la variété Sri Samrong 60 cultivée en Thaïlande (CROZAT *et al.*, 1994).



**Figure 2.4.** Le nombre de capsules récoltées: combinaison des processus de formation et de rétention d'organes fructifères (HEARN et CONSTABLE, 1984).



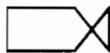
**Figure 2.5.** Structure du modèle dynamique SIRATAC de fructification du cotonnier (HEARN *et al.*, 1981)



**Variables d'état:**



**Taux de variation:**



**Flux d'organes fructifères:**



**Flux d'information:**



effets / rétro effets

positif



négatif



NB: Les symboles utilisés correspondent à la référence: Forrester, 1961.

modèles permettent de décrire les principales caractéristiques du processus de fructification illustrées Figure 2.4 et fournissent un cadre d'analyse des interactions entre morphogenèse et accumulation de biomasse sous l'influence des facteurs du milieu.

### 2.1.2.2 Rôle des facteurs du milieu sur le processus d'élaboration du rendement

Nous avons déjà abordé le rôle important du rayonnement solaire sur l'activité photosynthétique du cotonnier ainsi que ses conséquences sur la capacité de rétention des organes fructifères. Mais d'autres facteurs environnementaux tels que la température, l'eau et l'azote assimilable influencent considérablement le rendement.

#### ■ *La température*

La température, nous l'avons vu, conditionne le rythme de développement morphologique du cotonnier ainsi que la maturation des organes fructifères (FRANQUIN, 1966; WILSON et GUTIERREZ, 1980). Mais elle ne contrôle pas la durée de la phase de fructification. La fin du cycle est largement déterminée par la distribution des assimilats entre organes, la nutrition hydrique et minérale ainsi que les attaques de ravageurs (EHLIG et LEMERT, 1973). Cependant, les fortes températures (supérieures à 38°C) peuvent avoir des effets négatifs sur la fécondation et entraîner l'abscission des bourgeons floraux (MEYER, 1969; COGNEE, 1974).

#### ■ *L'alimentation hydrique*

Ce facteur joue un rôle déterminant dans les zones d'agriculture pluviale car il contrôle l'établissement de la culture en début de saison, puis la fin du cycle reproducteur (RASMIDATTA, 1984). Une fois que le système racinaire est mis en place, le cotonnier peut résister à des périodes de sécheresse en pompant l'eau en profondeur et en limitant la transpiration par une réduction de l'activité photosynthétique (ANGE, 1984).

TURNER *et al.* (1986) ont décrit la réponse du cotonnier à des stress hydriques croissants :

- L'expansion foliaire est d'abord affectée, puis l'élongation des tiges.
- La photosynthèse est stoppée par un stress d'amplitude supérieure,
- puis la morphogenèse, mais la maturation des capsules se poursuit grâce à l'allocation prioritaire des assimilats à ces organes.
- Des déficits hydriques plus sévères conduisent à l'abscission des bourgeons floraux et jeunes capsules.

HEARN et CONSTABLE (1984) soulignent cependant qu'une absence de stress hydrique ne correspond pas forcément à un optimum agronomique. En effet, une telle situation contribue à maximiser la croissance végétative. Elle a pour effet de réduire la capacité de rétention ainsi que la formation des capsules par l'intermédiaire du surplus d'assimilats produits. De fortes pluies, associées à une couverture nuageuse prolongée et à une nutrition azotée non limitante peuvent conduire à des problèmes de contrôle des insectes ravageurs, de pourriture des capsules mais aussi une maturité retardée (DORAS, 1992). Un feuillage dense faisant ombrage aux organes fructifères en position basse et à leur feuille axillaire accroît les problèmes d'abscission. Tout se passe alors comme si la plante se mettait en situation de développement indéterminé en maximisant la croissance végétative et en reportant la maturation des organes fructifères produits.

Finalement, il semble qu'un stress hydrique modéré en cours de fructification soit un optimum agronomique.

### ■ *La nutrition azotée*

La nutrition azotée joue un rôle particulièrement important sur la production de sites fructifères et par voie de conséquence sur la morphogenèse. Son action, liée à la disponibilité en eau, permet de prolonger la période de fructification en fin de saison. Différents travaux ont été consacrés aux méthodes de suivi de l'alimentation minérale du cotonnier (BRAUD, 1987; CONSTABLE *et al.*, 1991). Ils montrent que tous les excès ou déficit de fertilisation sont préjudiciables au rendement.

Par ailleurs, la moitié environ de l'azote des organes fructifères provient d'une redistribution depuis les feuilles sénescentes (RADIN et ELMORE, 1980). Le feuillage constitue un réservoir d'azote utilisé pour la maturation des capsules lorsque le prélèvement par le système racinaire s'arrête. Cette fonction, aussi importante que la photosynthèse permet au cotonnier de résister à des conditions hydriques défavorables.

Finalement, la physiologie du cotonnier en fait une culture bien adaptée aux facteurs de milieu non maîtrisables des zones d'agriculture pluviale (notamment l'alimentation hydrique). En conditions non limitantes, sa croissance indéterminée permet d'accroître considérablement son potentiel de production. Le lien étroit entre la morphogenèse et la fructification lui confère par ailleurs une remarquable capacité de compensation après des périodes de stress (sécheresse, dégâts de ravageurs, etc.) par une redistribution des assimilats en sources et puits.

### **2.1.3 Conséquences des caractéristiques agro-physiologiques du cotonnier pour l'étude des interactions plante - ravageurs.**

Les caractéristiques physiologiques du cotonnier amènent à effectuer un certain nombre de choix afin d'étudier les interactions entre la plante et ses ravageurs :

- Tous les processus physiologiques ont été décrits en fonction du **nombre de jours après la date de semis** et non pas de sommes de températures. La raison en est tout d'abord que les températures observées en Thaïlande sont peu variables au cours de la saison culturale et qu'elles ne sont jamais limitantes ( $< 12^{\circ}\text{C}$ ). Etant donné le niveau de précision des observations réalisées sur les essais en milieu paysan, nous ne sommes pas en mesure de caractériser des phénomènes liés à une variation de ce facteur climatique. La date de semis a été choisie comme point de départ de cette échelle et non pas la levée, car c'est une opération culturale facile à repérer lors des enquêtes alors que la levée correspond à un stade de croissance rarement observé par les agriculteurs (DUPRE, 1991). Sur le dispositif expérimental les semis ont toujours eu lieu en conditions d'humidité du sol suffisante, permettant une levée des plantules 4 à 5 jours après le semis.
- Les **variétés Sri Samrong 2 et Sri Samrong 60**, les plus cultivées en Thaïlande, ont été choisies de façon exclusive pour tous les essais. En effet, nous avons vu que la température n'intervient pas sur la durée de la phase de fructification, et par voie de conséquence sur la précocité de la récolte. Ces caractéristiques ainsi que l'aptitude du cotonnier à compenser des pertes d'organes fructifères sont partiellement liées à des facteurs génétiques.

Des observations sur **l'architecture des plants** ont été réalisées à trois stades clef du développement: 60, 90 et 120 jours après semis. Ces dates limitent respectivement les phases de croissance végétative, de fructification et de maturation (Figure 2.4). L'analyse de la morphologie des plants permet de retracer l'histoire de la parcelle et d'évaluer les dégâts liés aux insectes ravageurs, dont les populations sont suivies par ailleurs. L'origine physiologique ou parasitaire de l'abscission d'organes fructifères est évaluée grâce à l'observation systématique des organes fructifères tombés au sol. Cependant, dans les conditions climatiques non limitantes en eau de la Thaïlande, le fort développement végétatif des cotonniers entraîne souvent des structures morphologiques très complexes (avec de nombreuses branches végétatives et des ramifications secondaires sur les branches fructifères). Au cours de l'analyse des données, l'origine des organes reproducteurs (branches végétatives ou fructifères) n'a pas été prise en compte malgré le décalage dans le temps entre le développement des branches fructifères de la tige principale (plus précoce) et celles situées sur les branches végétatives. L'analyse est effectuée sur l'ensemble des organes fructifères présents sur la plante

au moment de l'observation, indépendamment de leur état de croissance et de leur position sur le cotonnier. En effet, l'objectif n'est pas d'étudier des interactions au sein du 'système plante' mais d'évaluer l'effet de facteurs extérieurs (conditions climatiques, attaques d'insectes, interventions culturales, etc.) sur l'élaboration du rendement. La priorité est donnée à la composante nombre de capsules à la récolte par rapport au poids moyen capsulaire pour expliquer le rendement (HEARN et CONSTABLE, 1984).

- Enfin, les processus de croissance et de développement étant associés, le rendement final est la résultante de phénomènes de stress et de compensation variables selon les conditions de milieu. Un niveau de production donnée peut être obtenu par différentes voies, imposant une **approche dynamique du fonctionnement de la plante**.

## 2.2 LE COMPLEXE PARASITAIRE EN CULTURE COTONNIERE

Le cotonnier est exposé, dans le monde, à une gamme extrêmement large de ravageurs. Son entomofaune déprédatrice ne compte pas moins de 1000 espèces, dont certaines sont présentes sur toutes les zones géographiques de production (MATTHEWS, 1989). On distingue traditionnellement deux principaux groupes de ravageurs du cotonnier, classés selon leur mode d'alimentation: les piqueurs-suceurs qui se nourrissent des assimilats de la plante et les chenilles qui s'attaquent directement aux tissus des feuilles (chenilles phyllophages) ou des organes fructifères (chenilles carpophages).

### 2.2.1 Les insectes piqueurs-suceurs

Les insectes piqueurs-suceurs se nourrissent de sève après perforation des tissus conducteurs foliaires ou d'autres organes de la plante. Les plus importants en Thaïlande, à l'heure actuelle, sont les suivants:

**Le jasside** (*Amrasca biguttula* Ishida) est à l'origine des dégâts les plus sévères (MABBETT, 1980). Il pond ses oeufs sous l'épiderme de la plante au niveau des veines situées à la surface de la feuille, du pétiole ou des jeunes tiges, mais jamais sur les autres parties du limbe foliaire. Les larves de 0.5 à 2 mm, de couleur vert clair, se déplacent de côté de façon caractéristique. Au total 4 à 5 générations peuvent se succéder chaque saison. Le stade nymphal dure de 7 à 21 jours selon les disponibilités alimentaires et la température. Les adultes, de taille légèrement supérieure sont ailés et ont une durée de vie maximale de deux mois. Ils restent généralement sur les jeunes feuilles des parties hautes de la plante, sur la partie inférieure des feuilles dans la journée, au moment des fortes températures puis sur la face supérieure pendant la nuit (EVANS, 1965). Ils piquent les petites veines des feuilles et pompent la sève pour s'alimenter. Ils injectent des substances toxiques dans le système vasculaire à l'origine de « brûlures » sur les tissus touchés.

Les symptômes caractéristiques des fortes attaques sont une décoloration de la bordure des feuilles dont la couleur s'éclaircit puis jaunit avant d'atteindre une nécrose des tissus, qui deviennent de couleur brune. Les feuilles soumises à de fortes attaques s'incurvent sur leur partie extérieure et peuvent aller jusqu'à abscisser. La croissance végétative est très affectée par les jassides, notamment en début de cycle (AHMAD *et al.*, 1985).

**Le thrips** est représenté par plusieurs espèces dont la plus fréquente est *Thrips palmi* Karny. Il s'agit de petits insectes de 1 à 1.25 mm ailés qui pondent dans les tissus foliaires. Après 4 à 15 jours, apparaissent des larves, copie conforme du stade adulte si ce n'est qu'elles sont aptères. Leur cycle biologique est de 2 à 5 semaines selon les

températures. Ils se nourrissent sur les zones de croissance des plantules et affectent parfois le bourgeon terminal induisant des déformations morphologiques caractéristiques. Les dégâts causés à la face inférieure des feuilles leur donne une apparence argentée en raison des excréta produits par l'insecte ainsi que d'un décollement de l'épiderme foliaire. Les symptômes sont impressionnants mais les pertes de récoltes correspondantes sont généralement faibles (FORRESTER et WILSON, 1988). Contrairement aux jassides qui s'attaquent au système vasculaire, le thrips se nourrit du contenu des cellules végétales. C'est pourquoi ce ravageur est difficilement contrôlé par les insecticides systémiques qui circulent dans le phloème.

Les pucerons (*Aphis gossypii* Glover) causent des dégâts de nature comparable à ceux des jassides. Ils peuvent former des colonies importantes sur la face inférieure des feuilles grâce à leur mode de reproduction asexué. Mais en Thaïlande, les pertes de récolte associées à la présence de ce ravageur sont plutôt liées à son rôle de vecteur de la maladie bleue (MABBETT, 1979). En effet, les individus infectés par ce virus phytopathogène le transmettent à la plante hôte. Les symptômes sont un épaississement des feuilles dont la couleur fonce (d'où le nom de la maladie), les plants deviennent rabougris et les pertes de rendement sont d'autant plus importantes que l'infection est précoce.

Les infestations de pucerons en fin de saison ont cependant une incidence particulière sur la qualité de la récolte. Les miellats rejetés par ces insectes se déposent sur la fibre des capsules ouvertes et donnent des cotons collants, difficiles à traiter par l'industrie textile.

L'aleurode *Bemisia tabaci* (Gennadius) cause des dégâts de même nature que le puceron en fin de saison. Il est aussi vecteur d'une maladie: le « leaf curl ». Les oeufs sont déposés sur la face inférieure des feuilles et recouverts d'une sorte de vernis collant. Les individus du premier stade larvaire, se dispersent sur les limbes foliaires puis se fixent et muent, perdant leurs antennes et leurs pattes. Trois stades larvaires fixés se succèdent en une quinzaine de jours avant l'éclosion d'un adulte ailé au corps de couleur blanche (GAMEEL, 1974). Les infestations subites ne sont pas rares, les populations pouvant être multipliées par dix en l'espace de deux semaines. Ces phénomènes de pullulation semblent associés à l'état nutritionnel de la plante, notamment l'équilibre entre l'azote et les autres nutriments dans les feuilles (JOYCE, 1958). Cet insecte peut coloniser plus de 420 espèces de plantes de 18 familles (MOUND et HASLEY, 1978)

Des dégâts d'acariens d'espèce *Polyphagotarsonemus latus* Banks ou *Tetranychus* sp. ont aussi été relevés sur des cotonniers en Thaïlande. Ces minuscules arachnides translucides et jaunâtres se nourrissent à la face inférieure des feuilles. Ces dernières prennent une apparence cireuse puis s'épaississent et finissent par se craqueler aux stades ultimes. Les infestations sont fréquentes dans les zones forestières caractérisées par des pluies abondantes, de l'ombrage et une forte humidité. Ce ravageur est généralement bien contrôlé par les insecticides dirigés contre d'autres éléments du complexe parasitaire.

*Dysdercus cingulatus* (Fabricius) est souvent observé en fin de cycle cultural. Cet insecte de taille supérieure aux précédents (15 mm de long) est muni d'un rostre capable de percer la paroi extérieure des capsules. Il se nourrit du contenu des graines en formation. Le principal problème est la transmission de maladies fongiques responsables de la pourriture des organes fructifères touchés. Les jeunes stades larvaires s'attaquent aux graines plus facilement accessibles des capsules ouvertes. Ce ravageur présente un large spectre de plantes hôtes, notamment dans les écosystèmes forestiers.

### 2.2.2 Les chenilles

Les chenilles du cotonnier causent deux types de dégâts selon qu'elles s'attaquent aux feuilles ou aux organes fructifères. Dans le premier cas elles altèrent la photosynthèse par une réduction de la surface foliaire. Les dégâts de chenilles phyllophages touchent la croissance végétative de la plante, comme ceux des insectes piqueurs-suceurs. Les chenilles carpophages se nourrissent des bourgeons floraux, fleurs et capsules et s'attaquent donc directement à la phase reproductrice. En outre, certains ravageurs s'attaquent aux deux types d'organes selon leur disponibilité, mais sont classés en fonction de leur régime alimentaire dominant.

#### 2.2.2.1 Les chenilles phyllophages

Ce groupe de ravageurs n'est pas considéré comme une contrainte majeure en Thaïlande car les attaques sont très localisées et facilement maîtrisées par les insecticides utilisés contre les piqueurs-suceurs. Cependant, ces chenilles peuvent induire des dégâts importants en début de cycle notamment, lorsque la surface foliaire est encore limitée.

*Anomis flava* (Fabricius) est une chenille arpeuteuse dont les infestations très sporadiques sont généralement liées à une forte humidité du climat. Les jeunes plants peuvent être entièrement défoliés.

Les jeunes larves de *Syllepte derogata* (Fabricius) sécrètent une soie, utilisée pour enrouler une feuille dont elles se nourrissent et se protègent. Les stades larvaires suivants se dispersent sur la plante puis chaque chenille enroule à nouveau une feuille dans laquelle elle forme sa chrysalide. Le cotonnier est une plante hôte presque exclusive de ce ravageur. Cependant, les larves sont très souvent parasitées par *Apanteles* sp. (ODEBIYI, 1982). De fortes infestations peuvent subvenir en fin de saison lorsque des insecticides de contact sont utilisés de façon répétée. En effet, ils détruisent le parasitoïde, mais restent sans effet sur le ravageur protégé par sa feuille enroulée.

*Spodoptera littoralis* (Boisduval) pond ses oeufs groupés par centaines à la face inférieure des feuilles. A l'éclosion, les larves se dispersent progressivement sur la plante; elles peuvent causer des dégâts considérables mais très localisés. Les stades larvaires les plus avancés peuvent aussi s'attaquer aux bourgeons floraux et aux jeunes capsules.

### 2.2.2.2 Les chenilles carpophages

Le ravageur le plus redouté des producteurs de coton thaï est sans nul doute *Helicoverpa armigera* Hübner (anciennement appelé *Heliothis*). On retrouve les chenilles sur une large gamme de plantes cultivées (maïs, sorgho, plusieurs légumineuses, et cultures maraîchères (tomates, aubergines, etc.) et d'adventices (euphorbiacées, amarantes, malvacées, solanacées, convolvulacées, etc.). Dans tous les cas, la principale période d'infestation correspond à la phase de fructification de la plante. Différentes espèces de ce ravageur sont réparties sur toutes les zones cotonnières dans le monde et causent des dégâts considérables.

La chrysalide se développe dans l'horizon superficiel du sol en deux ou trois semaines, puis peut éventuellement entrer en diapause pour passer une période où les conditions climatiques lui sont défavorables. Les papillons femelles pondent après copulation un millier d'oeufs environ pendant les 8 à 20 jours que dure leur vie; mais certains chercheurs estiment que 500 oeufs peuvent être pondus en une seule nuit (JOYCE, 1981). L'oviposition s'étend sur des zones géographiques importantes car le papillon très mobile pond les oeufs de façon isolés, généralement sur la partie supérieure du feuillage (BEEDEN, 1974). Les cotonniers les plus vigoureux sont aussi les plus attractifs pour l'oviposition. Les oeufs éclosent après deux ou trois jours et les larves commencent souvent par s'attaquer aux jeunes feuilles avant de se diriger rapidement vers les bourgeons floraux pour se nourrir. Leur régime alimentaire varie ensuite largement au cours du cycle selon les stades larvaires, au nombre de six. Les premiers s'attaquent aux plus jeunes organes fructifères mais les derniers sont capables de pénétrer les plus grosses capsules (WILSON et GUTIERREZ, 1980; WILSON et WAITE, 1982). Le cycle dure de 35 à 45 jours à 25°C.

*Pectinophora gossypiella* (Saunders) ou ver rose (en raison de sa couleur à partir du troisième stade larvaire) est un ravageur de fin de saison qui s'attaque exclusivement aux organes reproducteurs. Cet insecte originaire d'Inde s'est rapidement propagé dans toutes les zones cotonnières à la faveur de transfert de semences (PEARSON, 1958). On le trouve le plus souvent sur cotonnier mais il peut survivre sur certaines espèces d'*Hibiscus*.

Les oeufs sont généralement déposés sur la partie supérieure des jeunes capsules. A l'éclosion, la larve pénètre directement dans le fruit; elle est donc particulièrement difficile à contrôler par des pulvérisations insecticide. Son développement est

accompli entièrement dans le premier organe attaqué, si bien que la chenille n'est visible que par ouverture de la capsule. Lorsque la larve attaque un bouton floral, les pétales se disposent en 'rosette', seule manifestation extérieure caractéristique de cet insecte. Par contre, les dégâts causés à l'intérieur de la capsule sont considérables car les larves se nourrissent des graines en formation (KITTOCK *et al.*, 1983). Le dernier stade larvaire perce la paroi de l'organe attaqué et tombe sur le sol où il se transforme en chrysalide.

Cette chenille a fait l'objet de nombreuses études, tout comme la précédente. Son cycle de développement ne l'exposant pas au milieu extérieur et par voie de conséquence aux insecticides, des méthodes de lutte originales ont été imaginées (STONES et GUTIERREZ, 1986). Cependant, bien que ce ravageur soit répertorié de longue date en Thaïlande, les dégâts provoqués n'ont jamais imposé de contrôle spécifique (BREITENBACH, 1963; FAO/UNDP, 1989). En effet, le coton est produit exclusivement en zone pluviale et les populations sont contrôlées de façon naturelle par les précipitations. Par contre, les essais irrigués de contre-saison sont très attaqués par ce ravageur (RATANADILOK, 1990; DORAS, 1993).

Le complexe parasitaire du cotonnier compte bien d'autres insectes ravageurs et maladies, dont le détail est présenté en Annexe 2.1. Outre la maladie bleue et le 'leaf roll' transmis respectivement par les pucerons et les aleurodes, d'autres pathologies de type fongique ont été relevées, pour lesquelles la seule méthode de contrôle réellement efficace est la sélection de variétés résistantes. Dans la suite, nous limiterons notre étude aux insectes ravageurs, l'une des contraintes majeures de la culture cotonnière en Thaïlande (JONES et WANGBOONKONG, 1966; DEEMA *et al.*, 1974; WANGBOONKONG, 1981).

### ***2.2.3 Prise en compte de la composition du complexe parasitaire du cotonnier pour l'étude des interactions plante - ravageurs***

Les spécificités du complexe parasitaire présenté au paragraphe ci-dessus nous ont amenés à faire des choix pour l'organisation pratique du dispositif de recherche.

#### **■ *Les trois phases de sensibilité du cotonnier aux insectes ravageurs***

Cette approche dynamique sur une saison est confrontée à un problème de précision dans le suivi des populations d'insectes, lié aux plans d'échantillonnage ainsi qu'à la fréquence des observations. Différentes études ont été réalisées afin d'évaluer le nombre de plants sur lesquels les comptages d'insectes sont effectués, leur disposition dans la parcelle ainsi que les organes inspectés (MABBETT et NACHAPONG, 1980; CAUQUIL *et al.*, 1989; NACHAPONG *et al.*, 1989).

Trois phases successives du développement sont distinguées : une période de croissance végétative jusqu'à 60 jours environ après le semis, la fructification de 60 à 90 jours, enfin la phase de maturation de 90 à 120 jours environ. Chacune d'elles est généralement associée à la présence de certains insectes. On parle ainsi de ravageurs de début ou de fin de saison, non pas parce qu'ils sont présent exclusivement à ces périodes mais parce que les dégâts causés conduisent alors à des pertes de rendement notables (MATTHEWS, 1989). On peut donc considérer que les attaques d'insectes ont des effets de nature et d'amplitude homogène sur le fonctionnement du peuplement végétal sur chaque période, mais qu'ils diffèrent d'une phase à l'autre. Par ailleurs, FORRESTER et FITT (1991) couplent ces trois phases du cycle cultural au suivi des générations successives d'*H. armigera* pour la gestion des traitements insecticides.

■ *Le jasside Amrasca biguttula et la chenille Helicoverpa armigera : deux contraintes majeures.*

Les deux ravageurs *Amrasca biguttula* et *Helicoverpa armigera* sont responsables des pertes de récolte les plus importantes sur cotonnier. Les deux types de dégâts distincts, dont ces deux ravageurs sont responsables, sont caractéristiques des insectes piqueurs-suceurs et des chenilles carpophages; et à ce titre le jasside et la chenille *H. armigera* peuvent être considérés comme des représentants de ces deux groupes de ravageurs. La réponse du cotonnier aux contraintes phytosanitaires sera modélisée à partir des dynamiques de populations de ces deux insectes.

## 2.3 LA GESTION INTEGREE DES CONTRAINTES PHYTOSANITAIRES

Les paragraphes précédents ont abordé la physiologie du cotonnier, puis le complexe de ravageurs capable d'affecter cette dernière. A l'interface entre ces deux sous-unités du système étudié a été développé le concept de « lutte intégrée ». La définition proposée par un panel d'experts de la FAO (1968) pour cette notion abstraite est « *l'emploi combiné et raisonné de toutes les méthodes disponibles pour lutter contre les différents ennemis des cultures de façon à maintenir leur niveau de population assez faible pour que les dégâts occasionnés soient économiquement tolérables* ». Mais le concept de « protection intégré de la culture », proposé à l'origine par STERN *et al.* (1959) n'a cessé d'évoluer et la « gestion intégrée des contraintes phytosanitaires » se fixe aujourd'hui comme objectif de maintenir les pertes de récolte d'origine parasitaire à des niveaux économiquement et socialement acceptables, sans effets négatifs sur l'environnement (TENG, 1991). Ces transformations progressives sont liées (1) au développement de nouveaux outils d'analyse (statistiques et informatiques) permettant d'aborder les interactions multiples entre ravageurs et leurs effets sur l'élaboration du rendement (2) mais aussi à la nécessité d'intégrer les phénomènes biophysiques au contexte économique et social de la production pour assurer la mise en oeuvre effective des résultats de recherche par les agriculteurs et éviter les déséquilibres écologiques auxquels ont conduit les excès d'une protection chimique non rationnelle (CONWAY, 1984).

Nous présenterons dans les paragraphes suivants les principales démarches méthodologiques développées ces dernières années dans le domaine de la protection des cultures.

### 2.3.1 *Notions de dégâts, dommages et pertes.*

Les différentes échelles d'analyse de la contrainte phytosanitaire, ainsi que le large champ disciplinaire qu'elle couvre, ont entraîné des confusions dans la terminologie employée pour décrire les interactions plante - ravageurs (ZADOKS, 1985). Nous allons proposer ici un langage commun, nécessaire pour réaliser des expérimentations, effectuer des mesures, et interpréter des résultats en termes opérationnels.

#### ■ *Dynamique des populations*

Une contrainte phytosanitaire peut être caractérisée dans l'espace et dans le temps soit directement par comptage d'organismes biologiques (tels que des insectes ravageurs), soit indirectement par l'observation des symptômes sur le matériel végétal (pour les maladies foliaires par exemple). Cependant, l'information sur la présence d'un ravageur donné, et sur l'effectif de sa population: le **niveau d'infestation**, ne

permet pas en soi, de prédire la nature ni l'intensité des dégâts qui lui sont associés. En effet, ces derniers varient selon le stade de développement de la plante et celui de l'insecte (BOOTE *et al.*, 1993), mais aussi en fonction de la compétition entre individus du même groupe de ravageurs pour l'accès à la ressource alimentaire. Dans le cas d'une contrainte phytosanitaire multiple, les interactions entre groupes d'insectes sont aussi à prendre en compte.

La notion d'**attaque de ravageur** est définie comme la combinaison d'un niveau d'infestation et d'un niveau de dégât. Elle associe les variables caractéristiques des dynamiques de populations d'insectes à la phénologie de la plante.

### ■ *Les pertes de récolte*

On entend par **dégâts**, les symptômes visibles et mesurables d'une contrainte phytosanitaire sur la plante. Ils peuvent être responsables dans certaines conditions d'un **dommage**: réduction en quantité et/ou en qualité de la production physique d'une parcelle cultivée. Ce dernier, sous certaines conditions encore, peut entraîner une **perte**; le revenu économique ou l'avantage matériel (ou social), lié à l'activité de production agricole est diminué (Figure 2.6) (SAVARY, 1991).

ZADOKS (1985) introduit par ailleurs les notions dynamiques de « **fonction de dommage** » qui lie les variations du dommage à celle des dégâts et celle de « **fonction de perte** », effets de dommages variables sur la perte économique. La fonction de dommage peut faire l'objet d'une modélisation mathématique à partir de la connaissance acquise sur le système biophysique 'plante - ravageurs - milieu' pour un contexte de production donné. Elle suggère que le dommage est différent de la somme des dégâts, en raison de facteurs de tolérance, ou d'une aptitude particulière de la plante à compenser les attaques de ravageurs. Par contre, la fonction de perte semble plus difficile à établir, car elle fait appel au contexte économique et social de la production. L'élasticité des prix par rapport à l'offre et à la demande fait qu'une chute de production ne conduit pas nécessairement à une baisse du revenu. Le système envisagé est d'autant plus complexe qu'il englobe la dimension sociale de la perte de récolte.

### ■ *Les rendements*

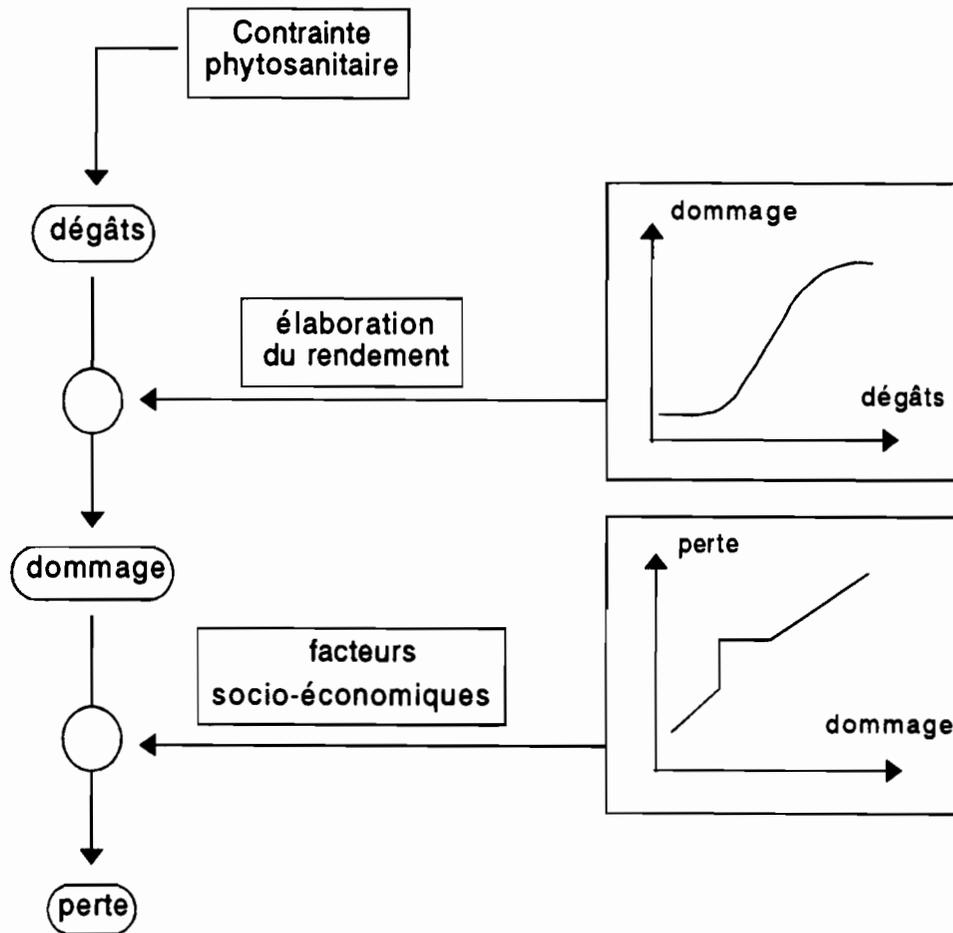
Trois catégories de rendements sont distinguées (ZADOKS, 1985) :

Le **rendement réel** (R), la production physique à l'unité de surface d'une parcelle soumise à différentes contraintes du milieu biophysique. La qualité est dans certains cas associée à cette notion de production récoltée.

Le **rendement accessible** (Ra) est celui d'une culture qui n'a subi aucune contrainte phytosanitaire. Le dommage est donc égal à l'écart (Ra - R).

Le **rendement potentiel** (Rp) correspond à des conditions optimales de production en l'absence de quelconques facteurs limitants.

**Figure 2.6.** Diagramme relationnel entre les concepts de dégâts, dommage et perte (SAVARY, 1991).



## ■ *La situation culturale*

Ce dernier concept a été introduit par DE WIT (1982) sous le terme de **situation de production** pour représenter l'ensemble des paramètres qui influencent le processus d'élaboration du rendement. Il regroupe des facteurs physiques (sol, climat, etc.), biologiques (ravageurs, parasites, flore adventice, etc.), techniques (opérations culturales), humains (savoir-faire de l'agriculteur, contraintes sociales), et économiques (coûts de production, prix, etc.). SAVARY (1991) donne une définition opérationnelle de cette notion, appliquée au cas particulier des maladies de l'arachide: « *une situation de production se réfère à la combinaison de facteurs d'environnement à l'exclusion des contraintes phytosanitaires, et au rendement accessible Ra qui peut être obtenu* ». Cette seconde formulation sera conservée dans notre approche des interactions cotonnier - ravageurs, mais nous l'appellerons « **situation culturale** » de façon à éviter toute confusion avec la première définition.

L'analyse de la variabilité du rendement en parcelles paysannes, de même que la mise au point de protocoles expérimentaux sur les pertes de récoltes se trouvent confrontées à des problèmes d'interprétation du dommage parasitaire. Il est donc nécessaire d'élaborer des outils spécifiques à l'analyse de la contrainte phytosanitaire afin d'évaluer la contribution relative du potentiel « agronomique » de production (déterminé par la situation culturale) et des dégâts sur le rendement réel

### *2.3.2 Modélisation des contraintes phytosanitaires*

Différentes approches des interactions plante - ravageurs ont été proposées, pour lesquelles la perte de rendement est généralement la variable expliquée (ZADOKS et SCHEIN, 1979; TENG, 1987). Leur objectif est dans un premier temps d'identifier et de hiérarchiser les contraintes phytosanitaires selon les niveaux de dommage qu'elles induisent (par des profils parasitaires par exemple; CASTELLA, 1993). Cette démarche permet ensuite d'orienter les programmes de recherche sur certains points à approfondir (de natures biophysiques, techniques, économiques ou sociaux) (WELCH et CROFT, 1979).

#### 2.3.2.1 Les méthodes d'analyse quantitative

Les méthodes d'analyse des contraintes phytosanitaires dépendent généralement de l'objet d'étude (une sous-unité d'un système global), du niveau d'organisation auquel il est abordé (échelle spatiale, pas de temps, etc.) ainsi que les objectifs (descriptifs : acquisition de connaissances, prédictifs : aide à la décision) assignés aux résultats de recherche. Une façon simple de décrire le fonctionnement d'un système est de le représenter par un modèle.

### ■ *Les modèles empiriques*

Les premières approches des systèmes à plusieurs contraintes phytosanitaires ont utilisé des régressions multiples pour quantifier la contribution de chaque ravageur au dommage. Cependant, cette technique d'analyse suppose l'indépendance des variables explicatives, et n'autorise pas à intégrer les interactions entre ravageurs pour l'interprétation des variables expliquées. De nombreux exemples de modèles empiriques existent, qui permettent de quantifier la relation entre plusieurs contraintes phytosanitaires, des situations culturales et leurs effets sur le rendement (BUTT et ROYLE, 1974; WIESE, 1982; CHEVALIER-GERARD, 1994). Différentes méthodes statistiques sont disponibles selon la nature des données et les objectifs: analyses en composantes principales, corrélations canoniques, régressions multiples (STYNES, 1980). Le point commun à ces techniques est que le processus de formation du dommage est considéré comme une 'boite noire' qui lie des variables d'entrée à des variables de sortie. En conséquence, l'extrapolation de ce type de modèles à d'autres situations culturales doit faire l'objet d'une validation préalable, qui ne lui confère pas systématiquement un caractère prédictif (KRANZ et HAU, 1980; TENG, 1987).

### ■ *Les modèles mécanistes*

Il s'agit de modèles mathématiques qui relient différentes variables d'état par des équations, censées décrire des relations entre les composantes du système. L'utilisation de l'ordinateur comme outil de simulation permet de représenter son fonctionnement à des niveaux de complexité supérieurs au cas précédent. Le pas de temps d'une journée est généralement utilisé pour simuler l'évolution des variables d'état soumises à différents facteurs environnementaux.

Certains de ces modèles sont appliqués aux dynamiques de population d'un des ravageurs du complexe parasite; ils décrivent l'impact des insectes selon leurs stades de développement larvaires, en termes de dégâts sur le matériel végétal (STONE et GUTIERREZ, 1986; HASSAN et WILSON, 1993). D'autres considèrent les infestations d'insectes comme un élément extérieur au système. Cette démarche revient à coupler la contrainte phytosanitaire à un modèle de fonctionnement de la plante (BOOTE *et al.*, 1983; HEARN et DA ROZA, 1985; YU *et al.*, 1993). Par contre, la relation inverse des conséquences du fonctionnement du peuplement végétal sur la dynamique des populations de ravageurs a rarement été abordée (PINNSCHMIDT *et al.*, 1990).

Ce type de modèles est particulièrement approprié au domaine écologique, où un grand nombre de variables sont en interactions. Cependant, il pose différents problèmes d'ordres méthodologiques.

(a) Le chercheur est parfois entraîné dans une spirale de complexité qui le conduit à détailler sa représentation de manière progressive et presque infinie. OZCOT (HEARN, 1994) est un exemple d'évolution en ce sens, depuis une description de la phénologie du cotonnier avec SIRATAC (HEARN et ROOM, 1979) jusqu'à un outil très complexe qui intègre différentes sous-unités du fonctionnement physiologique de la plante (photosynthèse, alimentation hydrique, nutrition azotée, dégâts de ravageurs, etc.). L'opérationalité de ces modèles pour la prise de décision peut en être affectée. En effet, l'initialisation requiert la collecte d'un grand nombre de données parfois difficilement accessibles dans les conditions réelles de production.

(b) Par ailleurs, dans le cas des populations d'insectes, les écarts observés entre les variables d'états simulées et la réalité, sont importants. Les modèles dynamiques doivent être « recalés » régulièrement en cours de saison à partir des observations de terrain. La contrainte parasitaire est le plus souvent simulée à partir de données de terrain collectées sur de longues périodes (BOOTE *et al.*, 1993).

(c) En outre, dans le cas du cotonnier, la plupart des modèles sont réduits à l'étude des interactions de la plante avec une seule contrainte phytosanitaire. L'intégration de plusieurs ravageurs complexifie encore cet outil, qui finit par s'éloigner de la réalité qu'il cherche à décrire (STERLING *et al.*, 1993). JOHNSON (1992), qui couple les dégâts d'un insecte et d'une maladie à la physiologie de la pomme de terre, montre cependant qu'il est possible de valider sur le terrain un modèle réalisé à partir de fonctions directrices relativement simples.

Enfin, si la démarche mécaniste autorise une approche dynamique des interactions plante - ravageurs, elle limite, par sa complexité, le niveau hiérarchique auquel la contrainte phytosanitaire est abordée. Souvent le système est réduit à la plante; les ravageurs sont considérés comme un facteur extérieur, au même titre que autres variables descriptives des états du milieu (sol, climat, etc.).

### 2.3.2.2 Les méthodes d'analyse qualitative

Les méthodes d'analyse qualitatives permettent d'élargir le champ d'investigation dans la problématique des pertes de récolte. Les données d'enquêtes épidémiologiques sont souvent caractérisées par une information très diverse en nature et en précision. Elles touchent à des domaines aussi variés que les dynamiques de populations des ravageurs, les pratiques culturales, les états du milieu, le contexte socio-économique, etc.. Une façon simple de synthétiser cette connaissance, souvent présentée de manière hétérogène, consiste à catégoriser l'information et à distribuer les individus selon des classes de chacune des variables descriptives (tableau de contingence). Une représentation graphique des relations entre ces variables est ensuite obtenue grâce à une analyse factorielle des correspondances (BENZECRI, 1973; GREENACRE, 1984; SAVARY *et al.*, 1994).

La transformation de données quantitatives en un nombre limité de classes introduit un degré d'approximation, du même ordre de grandeur que les erreurs de mesure sur les parcelles enquêtées (POATE, 1988). Par ailleurs, ce mode d'analyse modère le poids de phénomènes marginaux sur le comportement du système, pour faire émerger ses caractéristiques principales. Les résultats peuvent être exprimés de façon directement opérationnelle pour l'aide à la décision.

### 2.3.2.3 Evaluation des modèles et domaines de validité

La principale faiblesse des approches systémiques présentées ci-dessus réside dans leur adaptabilité à des situations différentes de celles dans lesquelles elles ont été élaborées. La plupart des modèles mécanistes sont construits initialement à partir de données collectées durant deux à trois ans sur des zones géographiques limitées. Ils font ensuite l'objet de calibrages grâce à des jeux de données obtenus dans des conditions différentes (AIKMAN, 1991).

L'importance donnée à la phase de validation dépend des objectifs assignés au modèle. GOSSYM (MCKINION et BAKER, 1989), OZCOT (HEARN, 1994) ont été testés dans un grand nombre de situations sur plus d'une dizaine d'années de façon à servir de support décisionnel pour les producteurs de coton. Dans le cas de DECIBLE (CHEVALIER-GERARD, 1994), le même objectif d'aide à la décision pour la protection du blé a conduit à intégrer des données historiques de pertes de récolte dès la conception du modèle.

Mais la plupart des modèles ont d'autres finalités qu'un outil de gestion de la contrainte phytosanitaire (RUESINK, 1976). Ils constituent un moyen de synthèse de la connaissance acquise sur un système, qui permet d'identifier certaines lacunes, de mieux orienter les programmes de recherche et de confronter les résultats obtenus dans le cadre de travaux multidisciplinaires (MOLLE et VALETTE, 1994).

## 2.3.3 *Approche théorique de la gestion des contraintes phytosanitaires*

### 2.3.3.1 L'aide à la décision

#### ■ *Les approches descendantes (top-down) et ascendantes (bottom-up)*

Deux types de démarches sont proposées pour mettre au point des outils d'aide à la décision en protection phytosanitaire.

La première consiste à développer des représentations mathématiques de phénomènes biophysiques, grâce à l'outil informatique (hard systems). Les variables de sortie de ces modèles peuvent ensuite être intégrées à des supports décisionnels tels que les systèmes experts (soft systems ou modèles mixtes). La combinaison de ces niveaux d'organisation n'est possible que si le modèle initial répond à certains critères de qualité (simplicité de paramétrage et de test, domaine de validité assez large, etc.) (MEYNARD, 1990).

BLACKIE et DENT (1974) proposent de concevoir un 'squelette conceptuel' du modèle biophysique et de lui associer, a posteriori, les variables caractéristiques de la situation culturelle de chaque site de production. Il s'agit d'une sorte de calibrage réalisé à partir de données historiques collectées à l'échelle d'une zone de production.

Une démarche inverse, qui va de l'acteur vers l'outil d'aide à la décision, est proposée par SEBILLOTTE et SOLER (1990). Ils se fondent sur le « modèle d'action »: représentation de la réalité qui structure en permanence les décisions de l'agriculteur, pour élaborer des systèmes de culture<sup>1</sup> adaptés aux différents cas de figure identifiés. Cette notion s'organise autour des points suivants: (a) un ou plusieurs objectifs généraux, (b) un programme prévisionnel et des états objectifs intermédiaires à atteindre et (c) un corps de règles de décision, avec des solutions de rechange pour les cas où celles-ci ne sont pas applicables. Le processus décisionnel peut alors être décomposé selon deux étapes complémentaires: la première démarche intellectuelle consiste à dissocier des sous-unités d'un système complexe pour une analyse approfondie de chacune d'elles séparément, les décisions « sectorielles » sont ensuite synthétisées mentalement pour retrouver la cohérence du système complexe initial.

### ■ *Décisions tactiques ou stratégiques*

SEBILLOTTE et SOLER (1990) associent ces étapes à deux niveaux hiérarchiques de décision :

La décision **tactique** correspond à un choix ponctuel, comme par exemple, intervenir par une opération technique pour modifier les états du milieu (ou ne pas le faire). Il faut alors déterminer la technique la mieux adaptée pour répondre au problème posé (pulvérisateur à main ou à moteur, contrôle insecticide de nature chimique ou biologique, choix de la dose, du moment de la journée pour l'application, etc.) en fonction des étapes précédentes de l'itinéraire technique<sup>2</sup>. Le temps disponible pour la réflexion est généralement court et les systèmes experts, conçus comme des arbres décisionnels, permettent à l'agriculteur d'évaluer en temps réel le risque associé aux

---

<sup>1</sup> L'ensemble des modalités techniques mises en oeuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système de culture se définit par : (i) la nature des cultures et leur ordre de succession dans le temps, (ii) les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, y compris le choix des variétés' (SEBILLOTTE, 1990a).

<sup>2</sup> Combinaison, logique et ordonnée, de techniques culturales qui permettent de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée' (SEBILLOTTE, 1978).

différentes options possibles. Ces outils souvent très sophistiqués ne sont disponibles à l'échelle commerciale que dans les pays industrialisés. On peut citer pour le coton : OZCOT (HEARN, 1994) en Australie, GOSSYM (MCKINION et BAKER, 1989) et TEXIM (STERLING *et al.*, 1993) aux Etats Unis.

Les décisions **stratégiques** engagent à plus long terme et prennent en compte un nombre de paramètres plus important que les précédentes, sur des systèmes plus larges (ATTONATY *et al.*, 1989). Le choix de la variété ou de la date de semis, par exemple, sont fait une fois pour toute en relation avec les risques climatiques, les contraintes liées au fonctionnement de l'exploitation (répartition des moyens de production entre différentes activités), les objectifs de l'agriculteur, etc. Elles ont ensuite des répercussions tout au long de la saison sur les choix tactiques successifs pour la conduite de la culture. On parle de stratégies, dans le cadre de la lutte intégrée, lorsque la gestion de la contrainte phytosanitaire est perçue comme une approche globale et cohérente (MATTHEWS, 1989). Les modèles empiriques sont souvent les mieux adaptés à ce type d'analyse, en raison de leur simplicité d'utilisation (HEONG, 1991).

Les démarches de recherche présentées ci-dessus, sur les systèmes d'aide à la décision, ont été orientées par l'analyse des processus cognitifs.

### ■ *De l'alarme à l'action*

SEBILLOTTE (1990b) suggère que la décision d'intervention est issue d'un diagnostic de l'agriculteur sur sa propre situation. Elle se déroule en deux phases : 'l'alarme' puis la 'préparation de l'action'.

L'**alarme** suppose que l'acteur s'est fixé une série d'états intermédiaires à atteindre successivement par le système pour parvenir à son objectif de production. Il compare, tout au long du processus d'élaboration du rendement, les états effectivement atteints aux états objectifs et déclenche l'intervention s'il juge que l'écart entre les deux l'éloigne de son objectif de rendement. La décision est liée au suivi d'un certain nombre d'indicateurs (niveau d'infestation, symptômes foliaires, etc. dans le cas de la protection des cultures) et à leur position par rapport à un seuil d'action. Cette dernière notion est une construction mentale propre à chaque individu, en fonction de son expérience personnelle de l'évolution probable du système. La notion de « seuil d'intervention » a été reprise par les chercheurs de façon à proposer des recommandations en des termes conformes aux modes de raisonnement de leurs interlocuteurs.

La **préparation à l'action** correspond à un processus de représentation du problème. « Le sujet cherche d'abord à adapter à la situation présente une procédure connue pour une situation jugée semblable, plutôt que d'analyser la situation et de construire une procédure à partir de cette analyse » (RICHARD et GEORGE, 1986). Puis, il évalue les possibilités de modifier son itinéraire technique pour essayer d'atteindre son

objectif initial. S'il n'existe pas d'alternative connue ou disponible, il peut revoir ses objectifs à la baisse.

Cette démarche cognitive suppose que l'agriculteur dispose de références théoriques ou empiriques pour construire sa propre représentation du problème. Il faut aussi que cette information soit directement opérationnelle pour qu'il puisse la traiter.

### 2.3.3.2 La théorie des seuils d'intervention

Les décisions sont généralement alimentées par une observation du milieu en interaction avec le peuplement végétal, qui conduit à l'action. Une définition classique du seuil économique d'intervention est 'le niveau d'infestation auquel le bénéfice d'un contrôle phytosanitaire est équivalent à son coût' (MUMFORD et NORTON, 1984). Ce concept est un des fondements de la lutte intégrée (STERN *et al.*, 1959). En effet, il permet de faire le lien entre la connaissance acquise sur l'élaboration du rendement en situation de contrainte phytosanitaire et son application concrète pour la protection de la culture. L'objectif qui lui est assigné est de remplacer les programmes de pulvérisation insecticide sur calendrier (suspectés d'être à l'origine de la surconsommation de produit insecticide) par des traitements déclenchés sur seuil d'infestation de ravageurs.

CHIANG (1979) donne une description formelle de cette notion abstraite, et introduit un « facteur critique » afin d'ajuster le seuil d'intervention à des priorités socio-économiques:

$$SE = \frac{CC}{EC \times Ra \times P \times D} \times FC$$

- avec
- SE : seuil économique d'intervention
  - CC : coût du contrôle (dépend du prix des insecticides et éventuellement du coût de la main d'oeuvre salariée)
  - EC : efficacité du contrôle (indique la part de la population éliminée par l'application du traitement. Elle dépend de la technicité de l'agriculteur et de son expérience de la protection de la culture)
  - Ra : rendement accessible (lié à la variété, les pratiques culturales et les conditions environnementales)
  - P : prix de vente de la production
  - D : dommage résultant d'un niveau donné d'infestation de ravageurs
  - FC : facteur critique (égal à 1 lorsque l'agriculteur a comme objectif de maximiser la production, il peut aller jusqu'à 2 pour un impact minimal sur l'environnement)

Les seuils d'intervention recommandés par les services officiels de vulgarisation en Thaïlande sont issus de cette formule. Cependant, la mise en oeuvre sur le terrain de cette stratégie de protection ne va pas sans poser de problèmes. Sa fiabilité a été mise en doute par plusieurs auteurs, qui se réfèrent à la pertinence des différents facteurs qui la gouvernent (CHIANG, 1982; WAIBEL et MEENAKANT, 1988). ZADOKS (1985) discute cette théorie sous quatre angles complémentaires, correspondant à quatre disciplines scientifiques: agronomie, biologie des populations (phytopathologie ou entomologie), économie et sociologie.

#### ■ *Point de vue de l'agronome*

Le problème est posé de l'effet du rendement accessible sur le dommage. Le premier élément dépend essentiellement de facteurs agronomiques alors que le second peut être considéré comme la résultante d'une accumulation de dégâts au cours du cycle cultural. ZADOKS (1985) souligne que le dommage exprimé en kilogrammes par hectare est indépendant du rendement accessible (effet Reddy). En conséquence, le dommage relatif (en proportion du rendement accessible) varie selon les dégâts mais aussi en fonction du niveau de production attendu. L'intensification de la culture (en terme de facteurs de production par unité de surface: intrants autres qu'insecticides, travail, irrigation, etc.) accroît non seulement le potentiel de production, mais souvent aussi les attaques d'insectes. La fonction de dommage, définie plus haut, est donc liée aux dégâts mais aussi au rendement accessible.

Un autre facteur agronomique à prendre en considération est l'aptitude de la plante à compenser des dégâts d'insectes. Certaines attaques de ravageurs ne conduisent pas forcément à un dommage, selon le stade de développement du cotonnier, et l'impasse sur un contrôle phytosanitaire peut être envisagé dans ce cas (HEARN et ROOM, 1979).

Pour évaluer le niveau de risque associé à un itinéraire technique, il semble donc nécessaire de combiner des fonctions de probabilité associées aux différentes variables du système plante - ravageurs. Un moyen de réaliser cette combinaison est la simulation à partir de données expérimentales. Le niveau de risque acceptable pour chaque facteur limitant dépend ensuite des stratégies de protection des agriculteurs et de la place de la culture dans le système de production (MEYNARD, 1990).

#### ■ *Point de vue de l'entomologiste*

Que mesurer pour rendre compte d'une attaque de ravageurs ? Un niveau d'infestation (nombre d'insectes par plant, par feuille, par unité de surface, etc.) ou des symptômes sur le cotonnier (décoloration des feuilles, déformations, organes abscissés, etc.)? La première option est généralement préférée car la collecte de données donne des résultats plus homogènes d'un observateur à l'autre. Par ailleurs,

dans le second cas il est souvent trop tard pour un avertissement aux agriculteurs; le mal est déjà fait.

Cependant, les comptages d'insectes, à la base des programmes de surveillance et de prévention phytosanitaire, ne sont pas directement utilisables dans le cadre de la théorie des seuils telle que définie par STERN (1959). En effet, la sensibilité de la culture aux attaques de ravageurs varie selon le stade de croissance et de développement de la culture (NORTON, 1982). Différents auteurs ont proposé des seuils dynamiques de dommage, positionnés dans le temps relativement à la phénologie de la plante (MATTHEWS, 1989). Dans le cas du cotonnier, WILSON et GUTIERREZ (1980) ont montré que les dégâts varient aussi en nature et en intensité selon le stade de développement du ravageur. La relation entre un niveau d'infestation d'insectes et le dommage doit donc passer par une fonction de dommage particulièrement complexe.

Quel est donc le niveau de précision souhaitable dans la collecte de l'information pour que la notion de seuil reste opérationnelle? Pour l'avertissement au producteur d'une attaque imminente de chenilles d'*Helicoverpa armigera* les stades précoces de développement doivent être pris en compte: les oeufs ou les jeunes larves (IVES *et al.*, 1984). Le conseil pour le choix du mode de contrôle (matière active, dosage, technique d'application, etc.) dépend aussi du stade de croissance du ravageur (FORRESTER et WILSON, 1988; CAUQUIL et VAISSAYRE, 1994).

Mais tout se complique dans le cas d'une contrainte phytosanitaire multiple. Le dommage résultant est différent de la somme des dommages causés par chacun des ravageurs pris séparément (BRADNER et FLETCHER, 1974). PALIS *et al.* (1989) rapportent des cas où un dommage est enregistré sur la culture du riz alors qu'aucun des seuils d'intervention individuels (pour chacun des ravageurs) n'a été dépassé. Un tel contexte, que l'on retrouve sur cotonnier, contribue à expliquer le recours presque systématique aux insecticides à large spectre d'action (à l'origine de déséquilibres écologiques par l'élimination de l'entomofaune auxiliaire). PALIS *et al.*, (1989) proposent un seuil multiple fondé sur des équations de régressions établies à différents stades de développement du riz, sous la forme :

$$[P \times EC \times (\alpha \times Rav1 + \beta \times Rav2 + \gamma \times Rav1 \times Rav2)] \leq CC$$

avec P (prix),  
 EC (efficacité du contrôle) et  
 CC (coût du contrôle) comme dans la définition précédente du seuil économique,  
 Rav1 et Rav2 : niveau d'infestation des ravageurs 1 et 2.  
 Rav1 x Rav2 : témoigne des interactions entre ravageurs et  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  coefficients de régression déterminés de façon expérimentale.

Les contraintes liées à cette approche, notamment la nécessaire validation de ces formules empiriques dans un grand nombre de situations contrastées, font que la formule ci-dessus n'est pas encore opérationnelle sur le terrain comme support décisionnel. Par ailleurs, il convient de souligner qu'un seuil multiple n'a de sens pour déclencher une intervention, que si les insectes concernés peuvent être contrôlés par la même matière active. Ce n'est malheureusement pas toujours le cas pour *A. biguttula* et *H. armigera*.

En tout état de cause, il semble que les choix tactiques ne puissent plus reposer sur les méthodes classiques de seuil individuel. Les recherches s'orientent vers des systèmes informatisés capables de réaliser une synthèse rapide des dégâts cumulés et des niveaux de risque, en fonction d'un objectif de rendement fixé à l'avance (ROSSING, 1993).

#### ■ *Point de vue de l'économiste*

La notion de seuil économique souligne l'importance du coût de la protection phytosanitaire (CC) ainsi que du prix de vente escompté à la récolte (P), dans le processus de décision. Le choix d'une matière active dépend de son prix et de son efficacité; il est réalisé en fonction d'un objectif de production qui peut varier en cours de saison (PARVIN, 1991). Par ailleurs, les décisions successives tout au long du cycle cultural sont liées entre elles; chacune contribue à maîtriser la contrainte parasitaire sur un pas de temps relativement court, entre le moment où le seuil est dépassé et celui de l'apparition prévisible du dommage. Mais elle sont aussi conditionnées par l'incertitude à long terme du prix de vente de la récolte.

La décision de traitement est liée au rapport entre les sommes déjà investies et le bénéfice escompté. Dans le cas de pression de ravageurs importante, ce dilemme du joueur de casino qui cherche à se « refaire » peut conduire à l'abandon pur et simple de la parcelle (ZAIDI, 1987).

#### ■ *Point de vue du sociologue*

Ceci nous conduit à la dimension humaine de la théorie des seuils d'intervention. Là encore, ce concept est mis à mal car il n'intègre pas (ou mal) le décideur, l'agriculteur en l'occurrence. Ce dernier raisonne généralement en termes économiques selon des objectifs assignés au système de production dans son ensemble. Les attitudes face à la contrainte phytosanitaire et à l'utilisation d'insecticides sont aussi nombreuses que les logiques de fonctionnement des exploitations (TAIT et NAPOMPETH, 1987). Certains agriculteurs considèrent le coût de traitements superflus comme une assurance contre une attaque d'insecte inattendue, ils préfèrent un programme de protection sur calendrier (NORTON et MUMFORD, 1983). D'autres attachent plus d'importance au risque pour leur santé ou l'environnement qu'à leur intérêt économique à court terme (LANE et TAIT, 1987).

La perception du problème phytosanitaire intervient directement dans la prise de décision. L'expérience accumulée au cours des saisons précédentes joue un rôle déterminant sur le déclenchement de l'intervention. Ainsi, des événements historiques majeurs, tels que de fortes infestations, peuvent modifier l'attitude des agriculteurs vis-à-vis d'un ravageur. Aux Philippines, des riziculteurs protègent encore leurs parcelles contre une maladie qui n'a pas fait de dégâts depuis plusieurs années (SAVARY, 1993).

Finalement, la décision dépend de la quantité et de la qualité (plus ou moins déformée par l'expérience, le contexte social, etc.) de l'information dont dispose l'agriculteur. Dans les pays occidentaux, la connaissance synthétisée sous forme de systèmes informatiques d'aide à la décision est accessible en temps réel, notamment par téléphone. Les structures d'exploitations de grandes dimensions facilitent la mise en oeuvre des recommandations. Mais le contexte de la production agricole en Thaïlande est un obstacle à l'application sur le terrain de ce type d'outil. La distance est souvent bien grande entre les résultats de la recherche et la réalité de la protection des cultures (TÜTTINGHOFF, 1991).

C'est pourquoi, malgré son manque de flexibilité, la notion de seuil d'intervention est encore à l'ordre du jour. Comme un pont entre chercheurs et agriculteurs, elle reste un moyen simple d'acquérir de l'information utilisable par le décideur. Ses faiblesses dans le cas d'un complexe de ravageurs multiples peuvent être compensées par sa facilité de mise en oeuvre.

### ***2.3.4 La gestion de la contrainte phytosanitaire***

La lutte intégrée consiste à harmoniser la gestion tactique de la protection sur une saison, avec une stratégie à long terme, afin de garantir la viabilité du système pour l'agriculteur, à la parcelle, comme pour l'ensemble de la communauté à l'échelle de l'agroécosystème.

En culture cotonnière, les recommandations techniques pour le contrôle des populations d'insectes ravageurs doivent porter sur une saison, sans perdre de vue les conséquences à long terme des pratiques culturales sur l'environnement. Le premier pas de temps, correspond à une variation de sensibilité aux attaques d'insectes selon le *stade de développement de la plante*; le second peut être assimilé à des *phases* (historiques) *d'extension de la culture* dans les régions cotonnières. L'analyse de ce dernier pose un problème méthodologique majeur, qui consiste à faire la part des évolutions tendancielle sur de longues durées, dont l'amplitude et la fréquence sont relativement faibles au regard des variations rapides des populations d'insectes en cours de saison (au rythme des générations successives, des événements climatiques, des traitements insecticides, etc.).

Ces deux pas de temps correspondent, par ailleurs, à deux échelles spatiales d'analyse de la variabilité des infestations de ravageurs. Au niveau de la parcelle, les interactions entre ravageurs pour l'accès à la ressource alimentaire et l'accumulation de dégâts de natures différentes en cours de cycle cultural conditionnent la variabilité des rendements. A l'échelle de l'agroécosystème, l'évolution des équilibres écologiques soumis aux changements des pratiques culturales sont à prendre en considération.

#### 2.3.4.1 Gestion de la contrainte phytosanitaire à la parcelle

Si on limite le système étudié à la parcelle (c'est en général à ce niveau d'organisation que les agriculteurs prennent leurs décisions tactiques), la protection de la culture consiste soit à réduire le nombre de ravageurs, soit à limiter le dommage occasionné sur le matériel végétal par un niveau d'infestation donné (grâce à des facteurs de résistance de celle-ci ou en faisant coïncider un stade de développement peu sensible aux dégâts avec des périodes où des attaques d'insectes sont fortement probables). Plusieurs disciplines scientifiques sont impliquées: les entomologistes pour le contrôle chimique ou biologique des populations d'insectes, les généticiens et biotechnologues pour la mise au point de variétés résistantes, enfin les agronomes, qui modulent la réaction de la plante aux dégâts parasitaires grâce à différentes techniques culturales.

Nous n'aborderons pas ici ces aspects pourtant essentiel de la protection de la culture cotonnière. En effet, plusieurs synthèses bibliographiques très complètes ont été réalisées récemment sur ces thèmes par MATTHEWS (1989), OUDEJANS (1991) ainsi que par le CIRAD (1994).

Le point à retenir sur ces différentes techniques de protection est qu'elles ne peuvent pas être gérées séparément. Un choix tactique dépend des options prises précédemment, et a des répercussions sur les décisions suivantes (SEBILLOTTE, 1978). Les programmes (ou stratégies) de traitements leur donnent une cohérence globale à l'échelle supérieure de l'agroécosystème.

#### 2.3.4.2 Gestion de la contrainte phytosanitaire à l'échelle de l'agroécosystème

L'agroécosystème est avant tout un cadre de surveillance, de suivi des équilibres écologiques fondamentaux, plus qu'un cadre d'action. Différents exemples de « catastrophes cotonnières », systématiquement associées à une surconsommation d'insecticides (cause ou/et conséquence de fortes attaques de ravageurs) ont été décrits par plusieurs auteurs (BOTTRELL et ADKISSON, 1977; BRADER, 1979; GIPS, 1987, MATTHEWS, 1989, OUDEJANS, 1991). La vallée de Canete au Pérou, le

Nicaragua, la Thaïlande, la vallée de l'Ord en Australie, les périmètres irrigués de Gezira, au Soudan, etc. sont devenus des cas d'école de ce qu'il ne faut pas faire. Ces zones ont dû abandonner la culture cotonnière à une période de leur histoire en raison de la contrainte phytosanitaire. Quels sont les moyens disponibles à l'heure actuelle pour éviter de telles situations.

### ■ *Les réglementations*

A l'échelle régionale ou nationale, le moyen de régulation privilégié est la loi. Son efficacité est garantie par le fait qu'elle s'adresse à l'ensemble de la communauté. Mais encore faut-il avoir les moyens de la faire respecter (NAPOMPETH, 1981).

Les principales réglementations nationales concernent l'entrée dans le territoire de ravageurs, de maladies ou d'adventices, souvent par de la semence contaminée. Un service de quarantaine permet d'effectuer ces contrôles sanitaires au niveau des douanes (LIPPOLD, 1973).

Des instances internationales donnent, par ailleurs, des directives concernant l'utilisation et le commerce des pesticides (ADAMS, 1974; FAO, 1990; IPCS, 1992). Celles-ci sont répercutées au niveau national par une législation. En Thaïlande, le Poisonous Article Act de 1967 amendé en 1973, réglemente l'importation, la formulation, et la distribution des insecticides. Cependant, la mise en oeuvre de ces recommandations ne semble pas toujours réalisable sur le terrain (NAPOMPETH, 1981; CHANTEAU, 1993).

### ■ *Gestion des interactions entre systèmes de cultures*

Le cycle biologique des ravageurs est régulé de façon naturelle par une combinaison de facteurs physiques (conditions climatiques), biologiques (animaux ou insectes prédateurs, maladies, etc.) et environnementaux (disponibilité en nourriture et en espace). Ce dernier paramètre permet à des insectes qui disposent de plusieurs plantes hôtes de se développer sur de nombreuses générations avant de rencontrer des conditions défavorables à la croissance de la population (souvent en raison de facteurs climatiques). On relève des transferts entre cultures (et sur les adventices) mais aussi pour une même production sur différentes zones géographiques. FITT et TANN (1994), qui étudient les migrations d'*Helicoverpa* dans l'écosystème cotonnier, ont montré que ce ravageur peut se déplacer sur des distances supérieures à 10 km.

Les différentes stratégies possibles pour éviter les pullulations de ces insectes sur cotonnier sont par exemple de:

- grouper les semis de façon à raccourcir au maximum la période de présence de la culture dans l'écosystème,

- utiliser des plantes pièges qui les attirent en début de saison et permettent à l'entomofaune auxiliaire de se constituer avant les semis de coton (CAUQUIL et VAISSAYRE, 1993),
- maximiser la diversité des espèces végétales (cultures et variétés) au sein de l'écosystème (EVENSON, 1987; SAVARY et TENG, 1994).

Une fois de plus, ces techniques relèvent d'une gestion collective de la contrainte phytosanitaire.

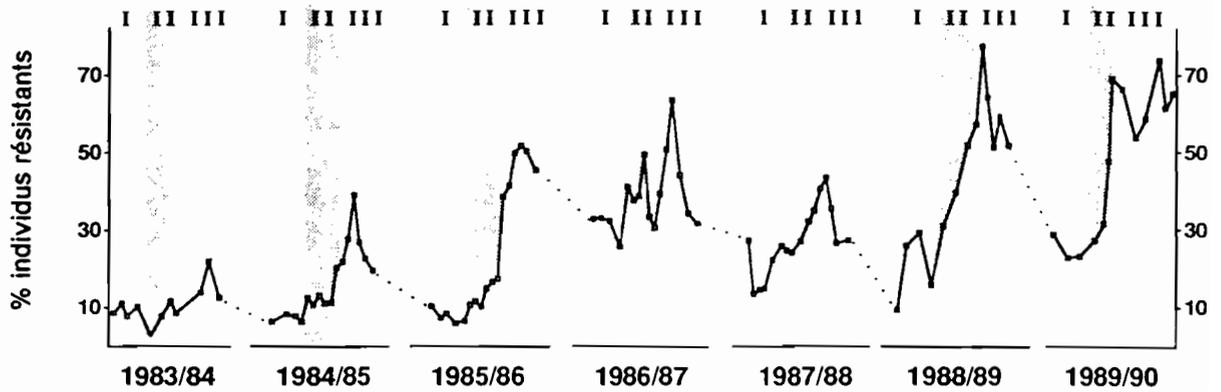
### ■ *Gestion de la résistance des ravageurs aux produits insecticides*

L'apparition de résistances aux insecticides les plus courants (Tableau 2.1) est venue compliquer encore les interactions au sein de l'écosystème cultivé.

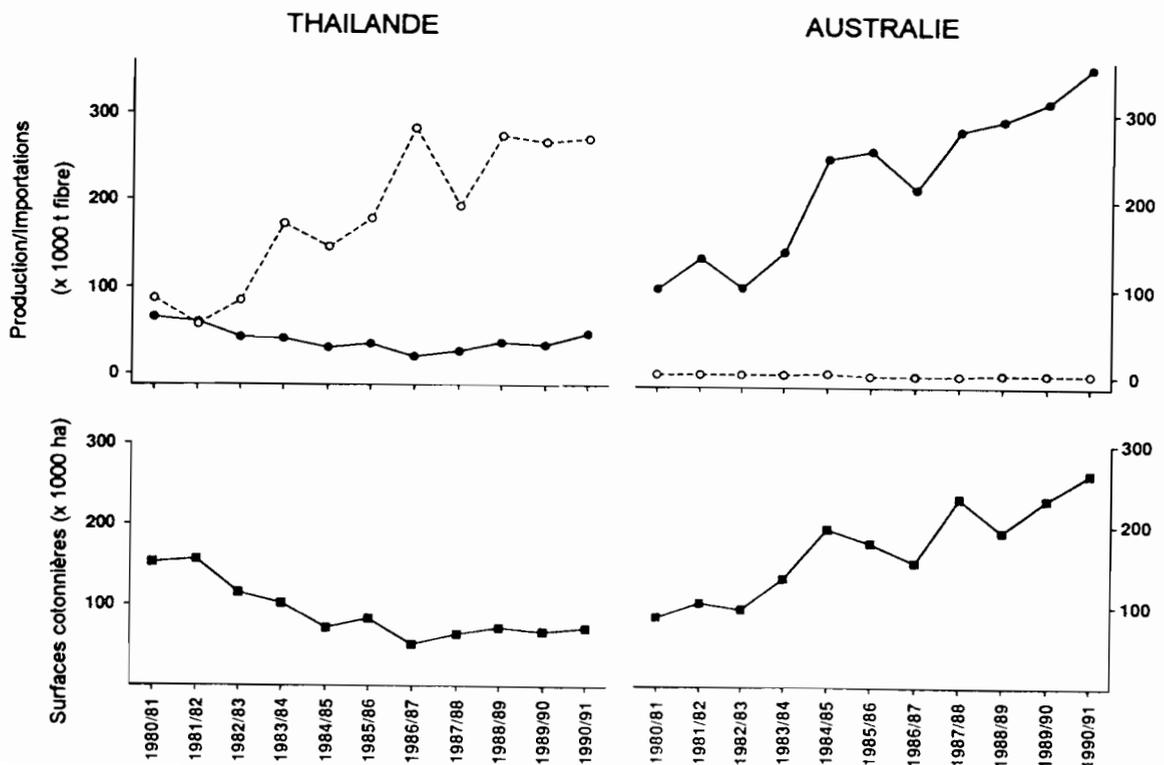
Une explication succincte de ce phénomène est que chaque groupe d'insecticide possède son propre site d'action sur l'insecte (Annexe 2.2). Les populations naturelles de ravageurs peuvent présenter de rares individus pour lesquels ce site est inactif. En conséquence, les applications répétées de la même matière active exercent une pression de sélection en faveur des individus résistants dont la proportion augmente dans la population. La résistance est alors le plus souvent acquise pour l'ensemble des insecticides d'une même famille (AHMAD et MCCAFFERY, 1988).

Le recours à un suivi de la proportion d'insectes résistants à l'échelle de l'agroécosystème semble la seule solution pour une gestion rationnelle de cette contrainte (FITT, 1989; GRAVES *et al.*, 1993). Un programme de grande envergure a été entrepris en ce sens en Australie depuis 1983 de façon à venir en aide aux agriculteurs pour le choix des matières actives et des périodes de traitement (FORRESTER et FITT, 1991). Les oeufs d'*Helicoverpa* sont prélevés dans les parcelles et les jeunes larves sont testées par une application d'insecticide à une dose discriminante. Le pourcentage de survie des échantillons collectés une semaine donnée sont connus des agriculteurs la semaine suivante. Ils peuvent alors mettre en oeuvre les recommandations (tactiques) des services de vulgarisation : alternance des matières actives, limitation des traitements aux pyréthrinoïdes sur une partie de l'année seulement, etc. (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1986; PLAPP, 1993). Le suivi de la résistance sur plusieurs saisons montre une augmentation de celle-ci en cours de saison (Figure 2.7). Il est par contre plus risqué de conclure à une évolution tendancielle de la résistance alors que l'on ne dispose de données que sur dix ans. Cependant, COX et FORRESTER (1992) montrent la rentabilité de la gestion de la résistance, par une analyse économique à l'échelle de l'agroécosystème. Ils comparent la production croissante de l'Australie, qui a mis en oeuvre ce programme de grande envergure depuis 1983, à celle de la Thaïlande (en diminution constante), qui n'a pris aucune mesure dans ce sens (Figure 2.8). Ils attribuent les conditions d'un tel succès à une combinaison de facteurs historiques, économiques et surtout sociaux qui ont favorisé la mise en oeuvre effective des méthodes de la lutte intégrée (Tableau 2.2).

**Figure 2.7.** Niveau hebdomadaire de résistance aux pyréthriinoïdes des populations d'*H. armigera* dans les vallées de Namoi et Gwydir, au nord de la province de Nouvelle Galle du Sud en Australie, pour les sept saisons depuis l'introduction d'une stratégie de 'gestion de la résistance' (aux stades de développement I, II et III du cotonnier). Les résultats sont exprimés en pourcentage de larves (élevées à partir d'oeufs collectés dans les champs) qui survivent à une dose discriminante de fenvalerate (0.2 µg/30-40mg de larve) (COX et FORRESTER, 1992).



**Figure 2.8.** Croissance des productions cotonnières thaï et australienne, surfaces cultivées et importations de 1980 à 1991 (d'après l'*International Cotton Advisory Committee*). ■ surface cultivée en cotonnier (x 1000 ha), ○ importation de coton (x 1000 t de fibre), ● production cotonnière (x 1000 t de fibre).



**Tableau 2.1.** Développement de la résistance des populations d'insectes et acariens vis-à-vis des insecticides et acaricides. Nombre d'espèces résistantes à (a) DDT, (b) Toxaphene, (c) organophosphates (d) carbamates et (e) pyréthriinoïdes (GIORGHIU, 1986).

Année	Total	a	b	c	d	e
1938	7	7	0	0	0	0
1948	14	13	1	0	0	0
1954	25	22	18	3	0	0
1969	224	155	42	23	4	0
1976	364	221	70	44	22	7
1980	428	245	95	53	25	10
1984	447	234	119	54	23	7

**Tableau 2.2.** Caractéristiques de la filière cotonnière australienne qui ont contribué au succès des programmes de gestion intégrée de la résistance des ravageurs aux insecticides (d'après COX et FORRESTER, 1992).

Biologique	Historique	Economique	Social
Effet de dilution des insectes résistants dans les populations de ravageurs	Expériences précédentes de déséquilibres écologiques liés à l'engrenage des insecticides	Capitaux importants investis dans la filière cotonnière	Le recours à des consultants indépendants est généralisé
Méthode simple et efficace de suivi de la résistance	Rapide croissance de l'industrie cotonnière avec de nombreux nouveaux producteurs	Ciblage des produits chimiques peu coûteux, efficaces et respectueux de l'environnement	Les pesticides sont généralement appliqués par des entreprises spécialisées
La lutte intégrée est pratiquée de façon courante en production cotonnière		Les producteurs s'approprient directement les bénéfices de la gestion intégrée de la résistance	Filière moderne et innovante
			Intégration des différents niveaux de la filière: égrenage, compagnies commerciales, conférences sur les résultats de recherche, etc.
			Phénomène de prise de conscience du public des problèmes de pollution liés à la protection de la culture
			Cohésion sociale entre acteurs de la filière (en nombre limité)

En conséquence, il semble que les conditions nécessaires pour concilier les tactiques de gestion de la contrainte phytosanitaire à l'échelle de la parcelle aux stratégies de maintien des équilibres écologiques à l'échelle de l'agroécosystème, résident dans une gestion collective du problème de protection de la culture.

#### 2.3.4.3 Les acteurs

Les efforts de recherche vers des techniques efficaces ne sont valorisés que si le mode de transfert de l'information est performant. A ce titre, la dimension sociologique est essentielle dans l'adoption des pratiques de lutte intégrée par les agriculteurs. Nous avons vu que dans certains cas, tels qu'en Australie, différents éléments socio-économiques sont à la base du succès de la filière cotonnière dans son ensemble (Tableau 2.2). Il s'agit à présent d'identifier les problèmes à aborder dans le contexte de production thaïlandais.

##### ■ *Les acteurs de la filière cotonnière*

Lorsqu'un dysfonctionnement est diagnostiqué dans un système complexe, c'est souvent le dernier maillon de la chaîne qui en est rendu responsable. En l'occurrence, l'agriculteur est accusé de tous les maux, parce que c'est lui qui pulvérise les insecticides (KENMORE *et al.*, 1987, CONWAY et PRETTY, 1991). Mais ses décisions sont généralement subordonnées à un faisceau de contraintes, qui vont des insectes présents dans sa parcelle jusqu'à la politique nationale de réglementation de l'usage des insecticides, en passant par le fonctionnement de son exploitation. Le contexte économique et social dans lequel s'élabore la production, contribue donc à expliquer les pratiques culturelles des agriculteurs (CAPILLON, 1988). Les commerçants locaux, les compagnies d'agrochimie, les organismes de recherche et de vulgarisation ainsi que les égreneurs et filateurs en aval de la filière, détiennent une part considérable de responsabilité dans la situation actuelle de la culture cotonnière en Thaïlande (CASTELLA et TREBUIL, 1992).

##### ■ *Les structures d'encadrement*

Les services de vulgarisation ont la tâche d'adapter puis de transférer les résultats de recherche à leurs futurs utilisateurs (STUART, 1993). En Thaïlande, le fonctionnement des grands programmes de formation à la lutte intégrée est très codifié (SRI-ARUNOTAI, 1988). Il passe par des parcelles de démonstration, qui démontrent généralement la supériorité de la stratégie de protection proposée sur celle de «l'agriculteur moyen», qui en toute rigueur n'existe pas (EVENSON, 1987; FAO/UNDP, 1989). Des sessions de formation sont organisées dans le cadre de dispositifs régionaux ou locaux à l'attention de vulgarisateurs ou directement des producteurs eux-mêmes. A l'échelle la plus large, des programmes de surveillance des principaux ravageurs (par comptage sur un réseau de parcelles témoins) ont pour

objectif de proposer des avertissements agricoles adaptés à la réalité de la contrainte parasitaire sur le terrain. Les agriculteurs sont formés à la reconnaissance des ravageurs, au choix des matières actives, aux doses et modes d'application des insecticides, etc. Ces projets font souvent l'objet d'une évaluation, qui consiste à comparer les pratiques culturales et les niveaux de production entre les agriculteurs associés au dispositif et ceux n'y participant pas. Mais les résultats sont souvent décevants en regard des moyens investis (BLACK *et al.*, 1987). TÜTTINGHOFF (1991) note, par exemple, que les riziculteurs thaïs qui ont appris à reconnaître les différents insectes par l'intermédiaire d'un programme de vulgarisation ont tendance à traiter leurs parcelles plus que les autres : c'est le résultat inverse de celui attendu. La raison en est qu'ils ont une perception exacerbée du risque de dégâts. De plus, des enquêtes menées sur les lieux d'un projet quelques années après sa fin, montrent souvent que la majorité des agriculteurs retournent à leurs pratiques initiales (NAPOMPETH, 1981). Interrogés a posteriori sur ce qu'ils ont appris au cours des stages de formation, très rares sont les producteurs capables de rappeler les objectifs du projet, et moins de 10% d'entre eux ont mis en pratique les enseignements des services de vulgarisation (ABEYRAMA et WEBER, 1988). Toutes ces difficultés sont généralement attribuées au manque de connaissances des agriculteurs (REDDY *et al.*, 1990; WIEBERS, 1993), ou à leur aversion pour le risque phytosanitaire (GRISELY et KELLOG, 1987). Mais il semble qu'à l'inverse, les chercheurs ne disposent pas d'une vision globale des problèmes auxquels leurs « clients » sont confrontés (TENG et HEONG, 1988).

Sur le terrain, le vulgarisateur n'a pas affaire à « l'agriculteur moyen » mais à une mosaïque d'individualités. Cette complexité doit être abordée de façon complexe, notamment par des méthodes de diagnostic capables d'appréhender l'hétérogénéité biophysique, économique et sociale du milieu (SEBILLOTTE, 1989). Il s'agit ensuite d'adapter le contenu du message technique à la situation de l'interlocuteur. Mais attention! Le facteur d'adoption d'une recommandation ne réside pas seulement dans la beauté d'un poster ou l'effet accrocheur d'un slogan de campagne publicitaire (HAMELINK et KAEWJANTUK, 1988).

### ■ *La circulation de l'information*

ABEYRAMA et WEBER (1988) ont réalisé une enquête sur l'impact des programmes de vulgarisation ainsi que sur la circulation de l'information technique parmi des agriculteurs de la Plaine Centrale en Thaïlande. Ils sont arrivés à la conclusion que tous les moyens « formels » de transfert des connaissances (émissions radiophoniques ou télévisées, sessions de formation des services nationaux de vulgarisation, assistance technique vulgarisateurs locaux, etc.) sont connus des agriculteurs, mais que l'information qu'ils en tirent leur est peu utile. Le contact fréquent avec les technico-commerciaux des industries d'agrochimie est apprécié car ces derniers leur donnent des échantillons gratuits de pesticides. Leur objectif est de pousser les agriculteurs à la

consommation, et grâce à ces petits cadeaux une bonne collaboration est favorisée<sup>1</sup>. De même les commerçants locaux assurent un ensemble de services de proximité (prêts d'argent, conseils, contacts avec l'administration, etc.) qui garantissent une relation privilégiée avec leurs « protégés »<sup>2</sup>. Les contacts avec les agents de vulgarisation sont beaucoup plus distants<sup>3</sup> en raison sans doute de la différence de statut social. Finalement le moyen le plus efficace de transfert des connaissances est informel (BRUMMELHUIS et KEMP, 1984). Un sentiment d'appartenance au groupe lie les agriculteurs avec leurs voisins, la relation de confiance s'établit de façon privilégiée avec les aînés. Le respect mutuel est fondé sur le charisme de l'individu dans une plus large mesure que sur les connaissances acquises de façon formelle (par l'école ou les stages de formation).

Des méthodes d'enseignement et de transfert de l'innovation devraient donc se fonder sur les réseaux informels de circulation d'information. Les systèmes traditionnels d'entraide<sup>4</sup> sont aussi des relations sociales à prendre en compte pour orienter progressivement les pratiques des agriculteurs vers les recommandations issues des travaux de recherche (ABEYRAMA et WEBER, 1988).

#### ■ *Attitude face au risque et perception de la contrainte phytosanitaire par l'agriculteur*

TÜTTINGHOFF (1991) a réalisé une expérience fort édifiante sur l'attitude face au risque, des riziculteurs de la Plaine Centrale de Thaïlande. Dans un premier temps elle a montré par une enquête que la majorité des agriculteurs (56%) craignaient un dommage inférieur à 50% du rendement accessible s'ils ne protégeaient pas leur parcelle à l'aide d'insecticides. Entre 15 et 40% d'entre eux traitaient de façon préventive. Mais la comparaison avec des parcelles expérimentales montrait qu'ils surestimaient systématiquement le dommage lié à l'impasse sur une pulvérisation. Plus de 50% d'entre eux traitaient pour un niveau d'infestation inférieur à 50% du seuil économique recommandé par les services de vulgarisation. Bien qu'ils soient conscient du danger pour leur santé, lié à leurs pratiques excessives, ils préfèrent développer des stratégies pour gérer ce risque (rotation entre membres de la famille, emploi de main d'oeuvre salarié, etc.), plutôt que de renoncer à l'utilisation d'insecticides (WONPHANICH *et al.*, 1985).

<sup>1</sup> Il est traditionnellement d'usage de « compenser » une faveur par un présent, dans la société thaï (SCOTT, 1972; MIZUNO, 1975)

<sup>2</sup> Les commerçants locaux appellent généralement « ses enfants » [*louk ra*] les agriculteurs, qui sont sous leur dépendance économique pour l'achat des intrants et la vente de la production.

<sup>3</sup> Même si parfois ces derniers distribuent aussi des insecticides pour s'attirer leur confiance : attitude qui va à l'encontre des techniques qu'ils sont censés promouvoir.

<sup>4</sup> Différent systèmes d'entraide existent ou ont existé par le passé : aide réciproque rendue en travail [*aw raeng*], sous forme de cadeau [*long khaek*], sans contrepartie [*chouay lua*] ou à caractère religieux [*samakhi*].

Plusieurs facteurs sont avancés pour expliquer ce comportement :

- Leur attitude est liée à une représentation sociale positive de la protection chimique (KAMLANG-EK, 1990). Les agriculteurs qui utilisent ces techniques sont considérés comme modernes et « avant-gardistes », personne ne peut imaginer qu'un agriculteur ait de bonnes raisons de ne pas avoir recours aux insecticides<sup>1</sup>. Une forte augmentation du prix de ces produits ou une chute du prix de vente de la production n'inciterait qu'une minorité d'entre eux à réduire l'utilisation d'intrants. Et s'ils devaient renoncer à une opération culturale, ils préfèrent sacrifier une application d'herbicide ou d'engrais plutôt que d'insecticide, dont le rôle positif sur le rendement final est jugé supérieur.
- TÜTTINGHOFF (1991) infirme l'hypothèse selon laquelle la forte consommation d'insecticide serait liée à une attitude réfractaire au risque phytosanitaire. Cette sociologue réalise, avec les agriculteurs, des tests fondés sur la théorie des jeux. Ils doivent choisir entre des événements d'amplitudes et de probabilités variables (une perspective de gain croissante est associée à une variance accrue). Les résultats obtenus montrent que l'attitude face au risque ne peut expliquer à elle seule leurs décisions dans le domaine de la protection des cultures (FEDER, 1980).
- Les arguments les plus plausibles sont aussi ceux déjà évoqués ci-dessus : (a) une perception déformée du dommage dû à la présence d'un niveau donné d'infestation parasitaire (cf. 3.3.3) (b) associée à un ensemble de contraintes imposées par le contexte socio-économique du système de production, (c) ainsi qu'un problème de transfert de l'information (TAIT et NAPOMPETH, 1987).

Finalement, l'adoption par les agriculteurs des techniques de la lutte intégrée est soumise à un ensemble de conditions, qui sont tellement fondées au plan technique qu'elles paraissent a priori devoir s'imposer. Cependant, la formulation des recommandations en des termes directement compréhensibles et praticables par les agriculteurs, la circulation de l'information par les réseaux traditionnels de communication, ainsi que la prise en compte de l'environnement socio-économique de la production agricole, font défaut à la grande majorité des programmes de vulgarisation proposés en Thaïlande. En conséquence, il semble nécessaire d'intégrer les agriculteurs au processus de recherche dès la phase de diagnostic; ou en d'autres termes, de définir le système étudié autour de ses acteurs (KENMORE *et al.*, 1985; CASTELLA, 1993).

---

<sup>1</sup> Cette connotation positive de l'insecticide se retrouve dans le vocabulaire employé en Thaï pour une « pulvérisation d'insecticide », qui est le même que pour une « injection de médicament » : [tchit ya].

### 2.3.5 Conclusion

Cette analyse bibliographique révèle différents aspects de la contrainte phytosanitaire dans le cas particulier du cotonnier et du contexte de production thaïlandais. Une représentation schématique des relations identifiées entre composantes du système 'plante - ravageurs - agriculteur' est proposée figure 2.9.

Le cotonnier est caractérisé par un développement morphologique étroitement associé à la formation de sites reproducteurs, qui lui confère une aptitude remarquable à compenser la perte d'organes fructifères. Le complexe parasitaire multiple est constitué de deux groupes d'insectes qui s'attaquent de façon spécifique au processus de croissance végétative (les piqueurs suceurs, dont le jasside *Amrasca biguttula* est le représentant le plus dangereux) ou à la phase reproductrice (les chenilles de la capsule, avec *Helicoverpa armigera*). L'étude des interactions au sein du système plante - ravageurs dépasse le simple couplage de deux modèles parallèles. La complexité de la physiologie du cotonnier soumis à des attaques d'insectes justifie une approche systémique.

Mais il semble que la principale contrainte de cette culture en Thaïlande soit le très faible impact des programmes de vulgarisation agricole sur les pratiques de protection phytosanitaire. A l'interface entre la mise au point des références techniques et la formulation de recommandations à l'usage des agriculteurs, il est indispensable d'appréhender la diversité des logiques individuelles et de les resituer dans leur contexte socio-économique.

**Problématique  
de  
recherche**

**3**

<b>3. PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE</b>	<b>59</b>
<b>3.1 Les niveaux d'appréhension de la contrainte phytosanitaire</b>	<b>59</b>
3.1.1 Les échelles d'analyse	59
3.1.2 Le choix des zones d'étude	60
<b>3.2 Les méthodes et critères d'observation</b>	<b>61</b>
3.2.1 Complémentarité des enquêtes et expérimentations à l'échelle de la parcelle	61
3.2.1.1 <i>L'expérimentation</i>	61
3.2.1.2 <i>L'enquête : du suivi de parcelles paysannes à l'approche du processus décisionnel de l'agriculteur</i>	61
3.2.1.3 <i>Diagnostic de l'agronome - diagnostic de l'agriculteur</i>	62
3.2.2 Le dispositif de recherche	63
3.2.3 L'approche régionale	65
<b>3.3 Les hypothèses de travail</b>	<b>65</b>
3.3.1 H1. L'évolution des modes de conduite de la culture cotonnière est à l'origine de son déclin	67
3.3.2 H2. La surconsommation d'insecticides s'explique par leur relative inefficacité	67
3.3.3 H3. Il existe des alternatives aux insecticides pour réduire le risque phytosanitaire dans les systèmes de culture paysans	67
3.3.4 H4. Les techniques actuelles de protection de la culture reflètent des contraintes imposées par les fonctionnement des systèmes de production	68

### 3. PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE

---

Notre objectif est, rappelons le, de réaliser un diagnostic sur la contrainte phytosanitaire du cotonnier en Thaïlande, et de comprendre les déterminants de la situation actuelle, afin d'imaginer des solutions concrètes visant à faire évoluer le système vers un nouvel équilibre plus satisfaisant.

L'analyse bibliographique précédente permet de préciser les méthodes d'étude adaptées.

#### 3.1 LES NIVEAUX D'APPREHENSION DE LA CONTRAINTE PHYTOSANITAIRE

Le problème est de savoir à qui ces transformations seraient profitables. En effet, nous l'avons vu dans la partie précédente, les recommandations doivent correspondre à l'intérêt individuel des différents acteurs, pour avoir des chances d'adoption, tout en respectant les équilibres (écologiques et économiques) garants de leur durabilité.

##### 3.1.1 *Les échelles d'analyse*

En ce sens, il semble que l'**agroécosystème** soit l'échelle privilégiée pour aborder les interactions entre les différents niveaux d'organisation (la parcelle, l'exploitation, la région, etc.), qui font toute sa complexité (ROUSSEAU *et al.*, 1994). Mais si la contrainte phytosanitaire peut être caractérisée et suivie à cette échelle, sa gestion concrète doit être entreprise avant tout au niveau du **système de culture**. La décision prend en compte un ensemble de facteurs appartenant aux différents niveaux hiérarchiques de l'agroécosystème, mais l'action majeure (pratique culturale : pulvérisation insecticide, contrôle des adventices, etc.) est appliquée à la **parcelle**.

Dans le contexte de la production cotonnière en Thaïlande, aussi longtemps que les conditions d'une gestion au niveau général de l'agroécosystème ne sont pas réunies (prise de conscience collective du problème et volonté d'une gestion commune), il semble illusoire de penser que les agriculteurs accepteront de mettre en oeuvre des recommandations non conforme à leur intérêt spécifique et immédiat, s'ils n'y sont pas forcés par une quelconque autorité. Il semble donc plus raisonnable dans l'immédiat d'adapter le message technique à la situation particulière des agriculteurs de façon à ce qu'ils trouvent intérêt à appliquer les

recommandations. Mais cela suppose que scientifiques, agents du développement et agriculteurs aient un langage commun. Pour ce faire, il est indispensable de comprendre la logique des pratiques de protection phytosanitaire pour pouvoir les comparer au cadre théorique dont dispose le chercheur. Traditionnellement, les programmes de recherche développés en Thaïlande ont donné la priorité à la compréhension des relations plante - ravageurs, négligeant quelque peu les acteurs. Mais les résultats, souvent séduisants pour leurs auteurs, étaient mal compris des usagers, qui n'adoptaient pas les innovations proposées.

A la lumière des expériences passées, nous avons donc décidé de privilégier le lien entre les différents niveaux d'organisation évoqués ci-dessus : **l'agriculteur est placé au centre du dispositif de recherche**. Il s'agit de comprendre la diversité des pratiques agricoles concernant la production cotonnière, appréhender le système de culture, en le resituant dans le système de production et son environnement régional.

### ***3.1.2 Le choix des zones d'étude***

La variabilité spatiale et temporelle du problème de maîtrise technique du parasitisme justifie de multiplier les observations. Mais, les contraintes imposées par un diagnostic à la parcelle (nombre de sites et d'années d'expérimentations limités) affectent les possibilités d'extrapolation des résultats obtenus. Une façon d'élargir le domaine de validité du diagnostic est de maximiser la diversité biophysique et humaine des milieux étudiés. C'est pourquoi nous avons décidé de travailler simultanément dans deux zones cotonnières.

Le choix des régions de Kanjanaburi et Lopburi a été guidé par les critères suivants :

- Ces provinces étaient respectivement au 4ème et 2ème rang pour leur contribution à la production nationale de coton, au début des travaux de recherche, position attestant de l'importance économique de cette culture.
- Situées à la périphérie de la Plaine Centrale, à égale distance de Bangkok, elles vivent depuis plusieurs années de profondes transformations socio-économiques. Nous faisons l'hypothèse que ces changements ont affecté les pratiques culturelles des agriculteurs. Elles sont caractérisées par des histoires ainsi que des milieux biophysiques (climat, sols, entomofaune, etc.) contrastés, mais l'influence socio-économique de la capitale (et l'attrait qu'elle représente pour la main d'oeuvre rurale) est comparable pour toutes les deux.
- Enfin, de nombreux programmes de recherche-développement ont été développés dans ces régions, avec plus ou moins de succès, pour soutenir la production cotonnière.

- Un dernier critère de sélection pour ces deux zones est lié à l'organisation pratique des activités de recherche. En effet, bien que distantes de 400 km, elle ne sont qu'à 250 km du campus de l'Université Kasetsart dans la province de Nakhon Pathom, permettant d'alterner les travaux dans l'une ou l'autre sur un rythme hebdomadaire.

## 3.2 LES METHODES ET LES CRITERES D'OBSERVATION

La réponse à la question : « *Quelle est la situation actuelle de la contrainte phytosanitaire?* » suppose une démarche de diagnostic destinée à évaluer l'impact des ravageurs sur les pertes de récolte, et à juger du bien-fondé des pratiques culturales des agriculteurs pour réduire ces pertes.

### 3.2.1 Complémentarité des enquêtes et expérimentations à l'échelle de la parcelle

#### 3.2.1.1 L'expérimentation

Comment évaluer une perte de récolte? Peut-on parler de perte pour quelque chose que l'on n'a jamais possédé (COOK, 1985)? La perte exprimée par l'agriculteur fait généralement référence à une situation culturale observée sur une autre parcelle ou une autre année. Mais pour le chercheur, une baisse de rendement lié à une contrainte parasitaire ne peut être mesurée que par comparaison avec une situation indemne d'attaques de ravageurs (toutes choses égales par ailleurs). L'expérimentation est le seul moyen de quantifier de façon empirique un dommage d'origine parasitaire. Une relation causale peut être établie, à l'échelle de la parcelle, entre la présence du ravageur et le dommage.

#### 3.2.1.2 L'enquête : du suivi de parcelles paysannes à l'approche du processus décisionnel de l'agriculteur

Les enquêtes consistant en un seul entretien, sur de larges échantillons, sont à même de caractériser la diversité, de quantifier des phénomènes ou de grandes tendances, mais elles restent descriptives par nature. Nous leur avons préféré une démarche sur de petits échantillons couvrant une large gamme de situations. Les discussions avec les agriculteurs, renouvelées régulièrement (toutes les deux semaines pendant deux voire trois ans pour certains d'entre eux) permettent non seulement de caractériser de façon précise les systèmes de culture de l'exploitation, mais aussi de comprendre les logiques qui les sous-tendent.

L'analyse du fonctionnement du système de production fournit des renseignements sur le rôle de la culture cotonnière pour l'agriculteur et contribue à expliquer les stratégies de protection phytosanitaire.

Pour comprendre les déterminants de telle ou telle opération culturale, il convient de la replacer dans le contexte global de l'itinéraire technique puis du système de production. Cela suppose des allers-retours permanents entre les pratiques et le « modèle de l'agriculteur pour l'action » (cf. Chapitre 2). En effet, une même opération technique peut être la conséquence de stratégies différentes et à l'inverse une même logique peut conduire à des pratiques différentes selon le contexte de production du moment.

Nous avons donc procédé selon trois méthodes complémentaires :

- Dans un premier temps, nous avons demandé à l'agriculteur de nous présenter la façon dont il s'y prend en règle générale pour conduire sa culture de cotonnier. Les réponses font généralement état d'un programme prévisionnel, de critères d'évaluation de l'écart entre l'état réel du peuplement végétal et celui auquel il devrait parvenir pour atteindre ses objectifs de rendement, enfin de contraintes imposées par le milieu ou par ses moyens de production (main d'oeuvre, capital, équipement) qui l'obligent à modifier ses objectifs.
- Le suivi des mêmes agriculteurs sur deux saisons culturales nous a permis de valider le modèle décisionnel formulé auparavant et d'évaluer le niveau d'adaptation de l'itinéraire technique aux événements souvent imprévisibles qui se déroulent en cours de saison.
- Enfin, un suivi régulier, sur les parcelles de cotonnier, de l'évolution conjointe du peuplement végétal (hauteur, architecture des plants, etc.) et des états du milieu (climat, ravageurs, enherbement, etc.) était destiné à vérifier l'efficacité des opérations techniques.

Cette démarche de diagnostic s'inscrit explicitement dans un processus décisionnel. Mais pour porter un jugement sur ce que fait l'agriculteur, le chercheur doit disposer de critères d'évaluation lui permettant de se référer à une situation qu'il considère comme souhaitable.

### 3.2.1.3 Diagnostic de l'agronome - diagnostic de l'agriculteur

SEBILLOTTE (1995) note que l'aide à la décision impose une double démarche de diagnostic :

- *un diagnostic du point de vue de l'agriculteur* : le programme prévisionnel a-t-il été réalisé? A-t-il atteint les objectifs qu'il s'était fixé?

- *un diagnostic du point de vue du chercheur* : la situation observée s'écarte-t-elle des normes? Celles-ci sont déterminées par un ensemble de connaissances théoriques ou de résultats expérimentaux. Elles permettent de statuer sur le bien-fondé d'une pratique ou sur le risque lié à un état du milieu (observé de façon 'objective') à partir de critères purement techniques, sans prendre en compte la logique de l'agriculteur.

La combinaison de ces deux diagnostics permet au chercheur de porter un jugement sur les stratégies développées par l'agriculteur. Une perception déformée de la réalité, conduisant à des pratiques non appropriées, peut être identifiée et modifiée.

Le support concret de ces diagnostics est l'articulation entre les enquêtes et les expérimentations. Les premières questionnent les « raisons de l'agriculteur » alors que les secondes constituent notre référentiel technique (dans le domaine de la protection de la culture cotonnière en Thaïlande). Le lien entre les deux, c'est le suivi selon les mêmes critères d'observation, des parcelles expérimentales et de celles des agriculteurs.

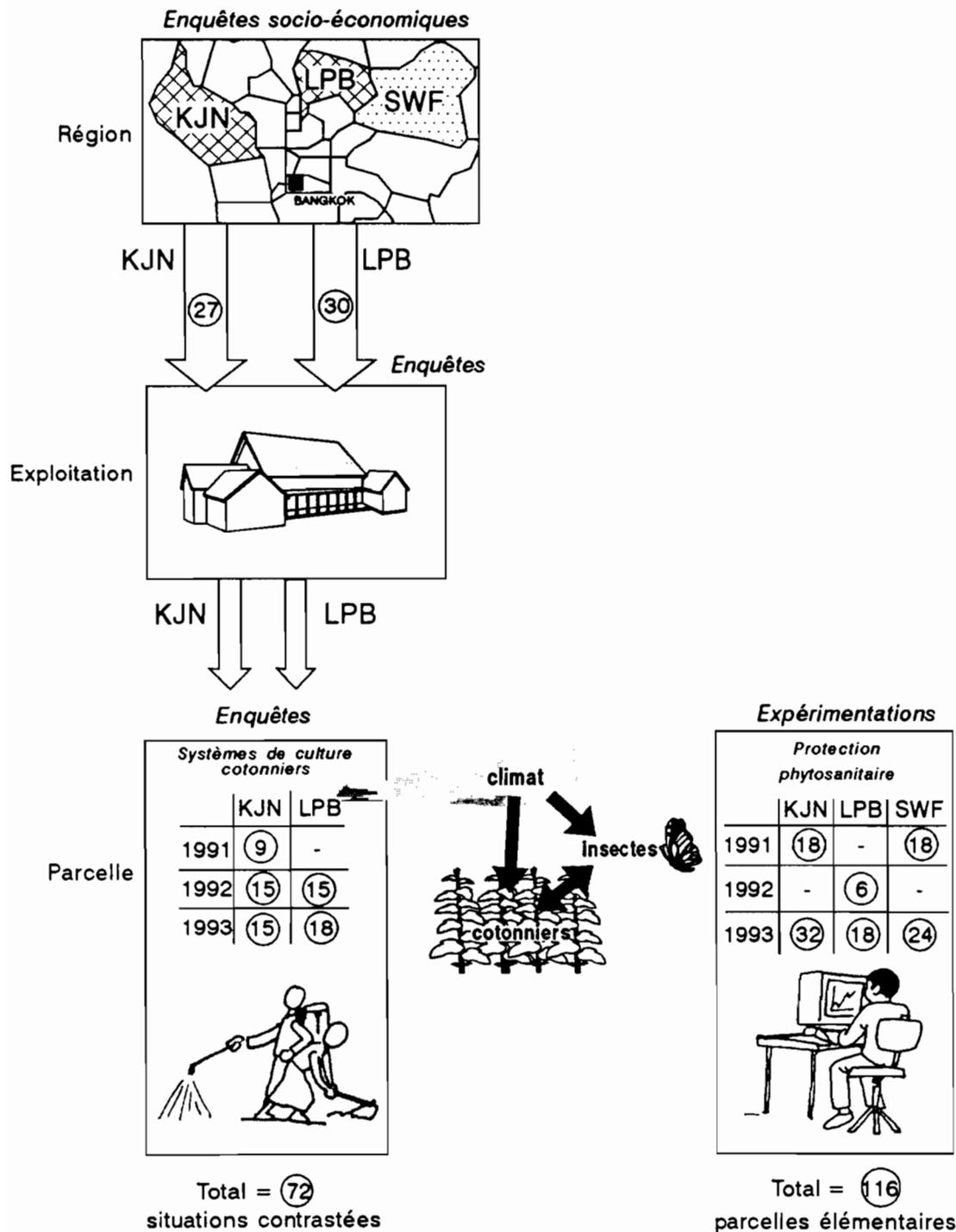
### ***3.2.2 Le dispositif de recherche***

Des essais phytosanitaires ont été implantés durant trois années (de 1991 à 1993) dans les mêmes zones que celles des enquêtes (provinces de Kanchanaburi et de Lopburi). Une répétition en milieu contrôlé, sur la station de recherche de 'Suwan Farm' dans la province de Nakhon Rachasima, était une référence pour l'interprétation des résultats obtenus en milieu paysan. Les traitements consistaient en des niveaux croissants de protection phytosanitaire, le reste de l'itinéraire technique étant homogène sur toutes les parcelles élémentaires de tous les sites d'essais. Le détail du protocole expérimental est présenté au Chapitre 5.

Les enquêtes 'systèmes de production' ont été réalisées auprès d'une trentaine d'agriculteurs dans la province de Kanchanaburi en 1991 puis celle de Lopburi en 1993. Les exploitations productrices de coton de ces premiers échantillons (une quinzaine par province) ont été sélectionnées pour une enquête orientée spécifiquement sur cette culture. Pour chacune d'elle, une parcelle de cotonnier a été suivie sur la base d'une visite toutes les deux semaines. Les protocoles d'enquêtes sont détaillés au chapitre 6.

L'ensemble du dispositif de recherche est présenté sur la Figure 3.1.

**Figure 3.1.** Présentation schématique du dispositif de recherche aux échelles de la région, de l'exploitation et de la parcelle. Les nombres encadrés correspondent aux effectifs des échantillons. KJN =Kanjanaburi, LPB = Lopburi et SWF = Suwan Farm (la station expérimentale de l'Université Kasetsart dans la province de Nakhon Rachasima).



### 3.2.3 L'approche régionale

Le parti pris d'une approche « explicative » des systèmes de culture cotonniers limite, pour des raisons de moyens, la taille des échantillons étudiés. Cette démarche affecte les possibilités de traitements statistiques des données d'enquêtes. Par ailleurs, elle requiert une attention particulière sur les conditions d'extrapolation des résultats, à des situations différentes de celles dans lesquelles ils ont été établis.

Une analyse régionale du problème phytosanitaire a donc été menée sur chaque zone d'étude afin d'évaluer :

- son impact sur le plan social et économique (notamment en ce qui concerne la viabilité de leur système de production),
- son extension dans l'espace et son accumulation dans le temps (résistance des insectes, abandon de certaines cultures, etc.).

Mais au delà du domaine de validité des résultats obtenus à l'échelle de la parcelle, cette démarche vise à appréhender *les déterminants de la situation actuelle de la culture cotonnière*. Cependant, SEBILLOTTE (1989) souligne qu'il est particulièrement difficile d'établir des relations causales à l'échelle régionale. Nous chercherons simplement à montrer qu'un ensemble de facteurs de natures différentes ont contribué à la situation actuelle de crise.

Nous analyserons, par ailleurs, le rôle des acteurs régionaux dans les transformations de la filière cotonnière, ainsi que leur influence sur les pratiques des agriculteurs.

Finalement, l'ensemble du dispositif de recherche est orienté vers la compréhension des interactions 'cotonnier - ravageurs - pratiques culturelles', aux échelles complémentaires de la parcelle, de l'exploitation et de la région.

## 3.3 LES HYPOTHESES DE TRAVAIL

Les chapitres de résultats sont structurés autour d'hypothèses de travail. Chacun correspond aussi à quatre échelles d'analyse de la contrainte phytosanitaire : la région, la parcelle, le système de culture et le système de production (Tableau 3.1).

**Tableau 3.1.** Les hypothèses de travail.

	Echelle	Méthode	Relation étudiée
<i>Hypothèse 1. L'évolution des modes de conduite de la culture cotonnière est à l'origine de son déclin</i>	Région	Enquêtes Données secondaires	Contexte socio-économique → Pratiques des agriculteurs Pratiques des agriculteurs → Attaques de ravageurs
<i>Hypothèse 2. Les surconsommations d'insecticides s'expliquent par leur relative inefficacité</i>	Parcelle	Expérimentations phytosanitaires	Attaques de ravageurs → Pratiques des agriculteurs Attaques de ravageurs → Elaboration du rendement
<i>Hypothèse 3. Il existe des moyens non chimiques de réduire le risque phytosanitaire dans les systèmes de culture paysans</i>	Système de culture	Enquêtes	<p style="text-align: center;">Pratiques des agriculteurs</p> <pre> graph TD     A[Pratiques des agriculteurs] --&gt; B[Attaques de ravageurs]     A --&gt; C[Elaboration du rendement]     B &lt;--&gt; C             </pre> <p>Attaques de ravageurs ↔ Elaboration du rendement</p>
<i>Hypothèse 4. Les techniques actuelles de protection de la culture reflètent, au moins partiellement, des contraintes imposées par le fonctionnement des systèmes de production.</i>	Système de production	Enquêtes	Système de production → Pratiques des agriculteurs

### ***3.3.1 Hypothèse 1. L'évolution des modes de conduite de la culture cotonnière est à l'origine de son déclin.***

Chapitre 4. La surconsommation d'insecticides: analyse géographique, historique et déterminants socio-économiques.

Il s'agit de l'étude comparative des deux zones cotonnières. Les évolutions techniques et leurs effets sur la contrainte phytosanitaire sont replacées dans le processus de transformation de l'agriculture régionale.

La prise en compte des logiques des différents acteurs de la filière doit permettre d'évaluer :

- le cadre de contrainte socio-économique auxquelles les décisions des agriculteurs sont subordonnées, ainsi que
- les possibilités d'extrapolation des solutions proposées à d'autres contextes de production.

### ***3.3.2 Hypothèse 2. La surconsommation d'insecticides s'explique par leur relative inefficacité.***

Chapitre 5. Analyse (à l'échelle de la parcelle) de l'efficacité de la protection phytosanitaire sur l'entomofaune et les dégâts

Un diagnostic fondé sur des expérimentations phytosanitaires est destiné à évaluer le dommage réel causé par les ravageurs au cotonnier. Il s'agit de vérifier à l'échelle de la parcelle :

- si la surconsommation d'insecticide est la conséquence du phénomène de résistance des insectes, ou
- si elle est liée à une mauvaise perception du risque phytosanitaire chez les agriculteurs.

### ***3.3.3 Hypothèse 3. Il existe des alternatives aux insecticides pour réduire le risque phytosanitaire dans les systèmes de culture paysans.***

Chapitre 6. Gestion de la contrainte phytosanitaire dans le cadre du système de culture

La logique des pratiques culturelles des agriculteurs est analysée à la lumière des résultats obtenus en parcelles expérimentales, sur les interactions plante - ravageurs.

La diversité des systèmes de culture cotonniers témoigne des différentes stratégies de protection phytosanitaire.

Cette démarche aboutit à une typologie des systèmes de culture cotonniers selon leur degré de maîtrise des facteurs du milieu.

#### ***3.3.4 Hypothèse 4. Les techniques actuelles de protection de la culture reflètent des contraintes imposées par le fonctionnement des systèmes de production.***

#### **Chapitre 6. (§ 6.5) Compréhension des systèmes de culture par le fonctionnement des systèmes de production**

Une approche du rôle de la culture cotonnière dans l'exploitation vise à resituer les pratiques de protection phytosanitaire dans le contexte plus large du système de production. Enfin, on évalue la capacité des stratégies mises en oeuvre par les agriculteurs à effectivement atteindre leurs objectifs: en termes économiques, niveaux de risque, etc.

Les résultats obtenus sont ensuite discutés dans une perspective d'application concrète au développement de la culture cotonnière.

## **Approche régionale :**

La surconsommation  
d'insecticides : analyse  
historique et déterminants  
socio-économiques

# 4

<b>4. APPROCHE REGIONALE</b>	<b>69</b>
LA SURCONSOMMATION D'INSECTICIDES : ANALYSE HISTORIQUE ET DETERMINANTS SOCIO-ECONOMIQUES	
<b>4.1 Introduction</b>	<b>69</b>
<b>4.2 Méthode</b>	<b>70</b>
<b>4.3 Présentation des deux zones d'étude</b>	<b>71</b>
4.3.1 Approche géographique	71
4.3.2 Approche historique	74
<b>4.4 Transformations du milieu biophysique</b>	<b>80</b>
4.4.1 Le processus de déforestation	80
4.4.2 Evolution du régime pluviométrique	80
4.4.3 Evolution historique du complexe parasitaire	82
<b>4.5 Rôle des acteurs de la filière cotonnière dans la situation actuelle de crise</b>	<b>89</b>
4.5.1 Les institutions publiques	89
4.5.1.1 <i>Les infrastructures</i>	89
4.5.1.2 <i>La recherche cotonnière</i>	89
4.5.1.3 <i>La vulgarisation agricole</i>	90
4.5.1.4 <i>Les structures de crédit</i>	92
4.5.1.5 <i>Une politique fiscale favorable aux importations de fibre de coton sur le marché mondial</i>	93
4.5.2 Le secteur privé	95
4.5.2.1 <i>L'aval de la filière : usines d'égrenage et filatures</i>	95
4.5.2.2 <i>Les intermédiaires locaux : les 'taokaes'</i>	98
4.5.2.3 <i>Les firmes d'agro-fourriture</i>	99
4.5.3 Attitude des agriculteurs face au risque phytosanitaire	103
4.5.3.1 <i>Le processus d'adoption - rejet des innovations</i>	103
4.5.3.2 <i>Le risque économique</i>	106
4.5.3.3 <i>Le risque d'intoxication lié à l'utilisation d'insecticides</i>	109
<b>4.6 Conclusions</b>	<b>113</b>
4.6.1 L'émergence du problème phytosanitaire	113
4.6.2 Les réponses des agriculteurs aux transformations du milieu écologique	114

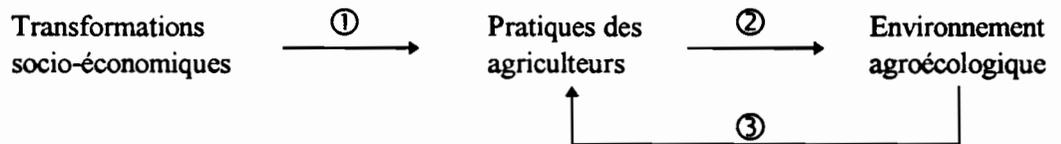
## 4. APPROCHE REGIONALE :

### LA SURCONSOMMATION D'INSECTICIDES : ANALYSE HISTORIQUE ET DETERMINANTS SOCIO-ECONOMIQUES

---

#### 4.1 INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est de réaliser un diagnostic sur les facteurs qui ont entraîné les producteurs de coton thaï dans une spirale de surconsommation d'insecticides. Nous avançons l'hypothèse que les transformations du contexte technique, socio-économique et environnemental de la production agricole sont à l'origine de l'évolution des pratiques culturales. Les relations entre ces facteurs explicatifs sont représentées schématiquement ci-dessous :



La surconsommation de produits insecticides est donc analysée à l'interface entre trois processus complémentaires :

① = transformations de l'environnement socio-économique

② = une modification des équilibres écologiques (apparition de nouveaux ravageurs, résistance aux insecticides, etc.) conséquence des pratiques intensives.

③ = les transformations du milieu affectent l'efficacité des méthodes traditionnelles de contrôle des ravageurs; les agriculteurs adaptent leurs pratiques à ce nouveau contexte.

Au moyen d'allers - retours entre les transformations du milieu écologique et du milieu humain, nous aborderons en parallèle les relations ① et ③. Les facteurs déterminants de la contrainte phytosanitaires seront ensuite recherchés dans les pratiques culturales des agriculteurs (relation ②). Enfin, nous envisagerons le rôle respectif des différents acteurs de la filière cotonnière (institutions gouvernementales, commerçants, industries d'agro-fourriture, agriculteurs, etc.), dans l'émergence des problèmes phytosanitaires.

## 4.2 METHODE

La méthode utilisée consiste en une étude comparative de deux régions cotonnières aux situations contrastées : Kanjanaburi et Lopburi. L'information sur l'histoire agricole des deux zones est confrontée aux références statistiques régionales.

Les données sont collectées à partir :

- d'enquêtes informelles auprès de « témoins » des transformations socio-économiques de la région (une quinzaine de personnes par région : vieux agriculteurs, bonzes, instituteurs, commerçants, responsables politiques locaux, etc.),
- des enquêtes 'systèmes de production', menées sur un échantillon de 30 exploitations par région, qui abordent l'histoire de la famille et de son environnement socio-économique (cf § 6.5),
- d'analyse de données secondaires (cartes, statistiques régionales, références bibliographiques, etc.).

Cette démarche est confrontée à deux questions méthodologique majeures :

Comment caractériser des relations causales entre composantes de l'agroécosystème? Par exemple, la composition de l'entomofaune évolue constamment sous l'effet de différents facteurs biophysiques naturels (climat, prédateurs, pression génétique, etc.). Il est donc particulièrement difficile de conclure à un impact univoque des pratiques culturelles, pour expliquer des changements. Le risque de confusion d'effets est important.

Notre approche se limite donc à mettre en relation un certain nombre de phénomènes pour lesquels des relations causales ont été montrées à d'autres échelles d'analyse (à la parcelle généralement). Mais il reste impossible de quantifier la part relative des différentes « causes » possibles sur leurs « effets ».

Le second problème concerne la contribution relative des phénomènes actuels et de ceux du passé, dans l'état observable de la contrainte phytosanitaire (SEBILLOTTE, 1989). La situation présente résulte d'interactions entre les éléments contemporains du système, et ceux hérités du passé.

Nous chercherons donc à dater les événements en cause dans les transformations de l'agriculture régionale et à les confronter avec des unités de temps convenables. Un changement des pratiques culturelles, à cette échelle (régionale), nécessite plusieurs années et leur impact sur les équilibres écologiques doit être analysé sur des pas de temps du même ordre de grandeur. Nous privilégierons l'analyse historique d'événements marquants, ou de grande envergure, par rapport à des phénomènes d'adaptations conjoncturelles à des situations passagères.

### 4.3 PRESENTATION DES DEUX ZONES D'ETUDE.

#### 4.3.1 Approche géographique

##### ■ *La périphérie de la Plaine Centrale*

Les provinces de Kanjanaburi (KJN) et Lopburi (LPB) sont situées à la périphérie de la Plaine Centrale de Thaïlande en zone de piémont (Figure 4.1). Leur altitude élevée (100 à 1000 m au dessus du niveau de la mer), a entraîné le développement d'une agriculture essentiellement pluviale. Par ailleurs, la proximité de Bangkok a joué un rôle essentiel dans le développement socio-économique de ces régions (NESDB/JICA, 1990).

##### ■ *Le milieu physique*

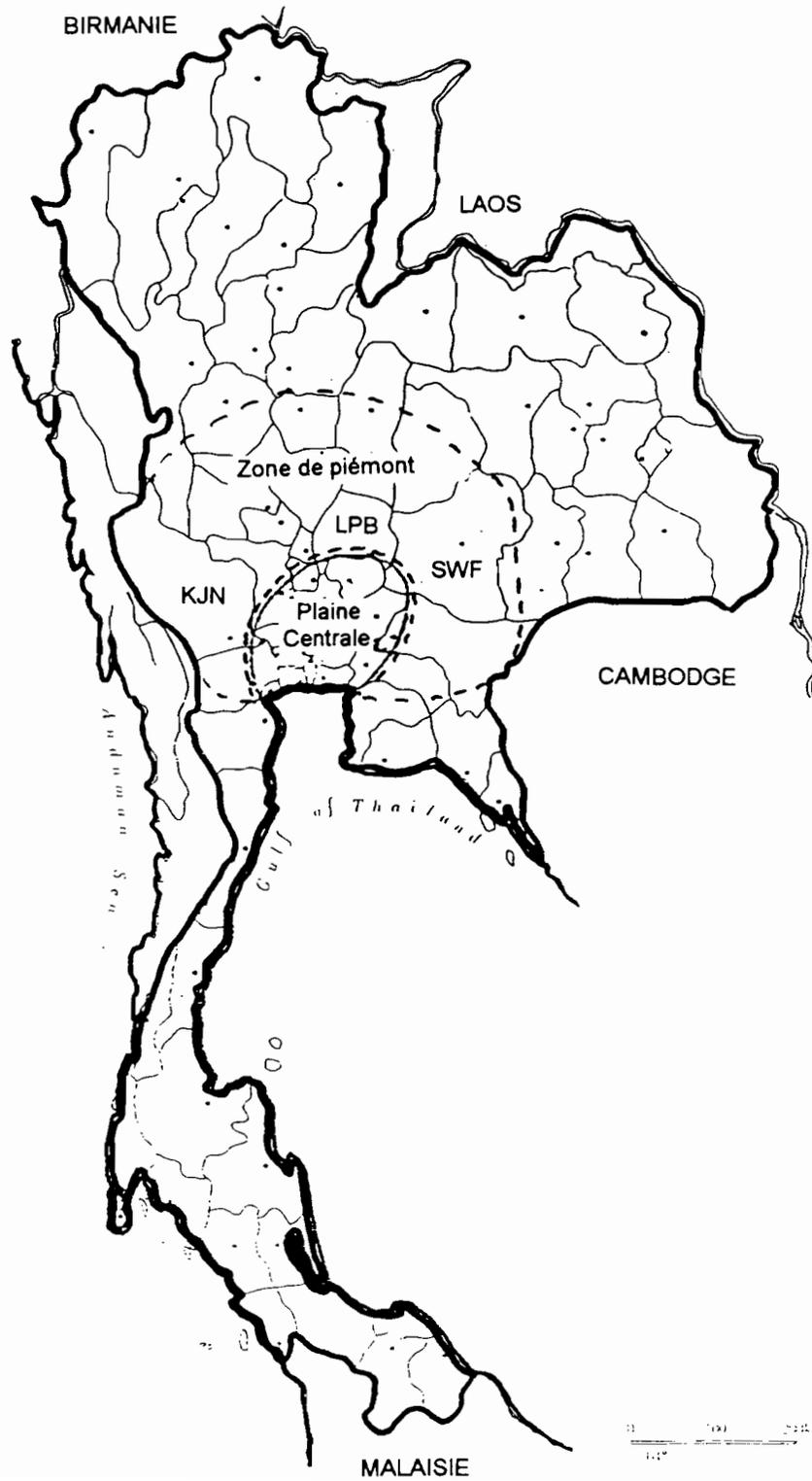
Les zones cotonnières sont caractérisées par des sols argileux à limono-argileux, dérivés de roches métamorphiques. (Annexe 4.1).

Kanjanaburi présente un gradient pluviométrique orienté vers le nord de la vallée, de 1000 à 2000 mm par an. Le site choisi pour les enquêtes et expérimentations (sous-district de Tha Sao dans la district de Saiyok) a une pluviométrie moyenne de 1200 mm, légèrement supérieure à celle du site de recherche de la province de Lopburi (sous district de Silathip, district de Chaibadan), qui avoisine les 1000 mm.

La distribution fréquentielle des précipitations fait apparaître deux pics, qui peuvent être assimilés à une double saison des pluies (Figure 4.2). Cette caractéristique autorise l'implantation de 2 voire 3 cultures successives sur les mêmes parcelles, en une seule année. De la comparaison des deux sites de recherche ressortent des différences de régime pluviométrique. Lopburi est moins arrosé; le premier pic de pluies est inférieur à celui de Kanjanaburi et le second s'estompe plus rapidement dans la saison (octobre pour Lopburi et novembre pour Kanjanaburi). Le bouclage d'un cycle cultural sur la période avril-juillet semble plus risqué à Lopburi qu'à Kanjanaburi. Ces caractéristiques expliquent sans doute le choix de cultures à cycle court et faibles besoins hydriques (pastèques, haricot mungo, etc.) en début de saison à Lopburi, ainsi que du développement d'un système de culture relais, maïs - coton à Kanjanaburi (TREBUIL *et al.*, 1994).

Les caractéristiques géographiques des deux zones d'étude, notamment leur localisation par rapport à la Plaine Centrale et aux pays voisins, ont eu de nombreuses répercussions sur leur histoire agraire.

**Figure 4.1.** Situation des provinces de Kanjanaburi (KJN) et Lopburi (LPB) dans les zones de piémont à la périphérie de la Plaine Centrale de Thaïlande.





### 4.3.2 Approche historique

Située à la frontière avec la République de Myanmar (ancienne Birmanie), la province de Kanjanaburi s'est rendue tristement célèbre au cours de la Seconde Guerre mondiale par la construction du chemin de fer qui devait relier le Vietnam à la Birmanie. A cette époque, la zone à laquelle nous nous intéressons aujourd'hui était une forêt primaire. Seul le district situé autour de la ville de Kanjanaburi, en aval de la rivière Kwaï, faisait l'objet d'une activité agricole; riziculture principalement.

Lopburi fût une zone de passage très ancienne vers le Laos. Mais son développement économique était confiné à la proximité des axes de communication (la rivière Pasak) ainsi qu'aux zones de bas fond favorables à la riziculture inondée. En 1950, la zone d'étude était couverte de forêt dense et inhabitée.

Nous avons identifié plusieurs périodes marquantes dans l'évolution écologique, économique et sociale de ces deux zones. Ces étapes du processus de transformation de l'agriculture sont présentées aux tableaux 4.1 et 4.2.

De la comparaison entre les histoires agraires des deux zones d'étude, émerge un certain nombre de similitudes. On distingue quatre périodes :

1950 à 1970 : Cette période correspond à l'avancée d'un **front pionnier**.

Les colons s'approprient progressivement l'espace forestier, à partir des axes de communication (voie ferrée à Kanjanaburi et route à Lopburi). Ils viennent s'installer dans des zones de forêts dégradées, résultant de l'exploitation par les compagnies forestières ou les charbonniers de la première génération d'occupants. Les migrants ont quitté les zones rizicoles de la Plaine Centrale sous la pression démographique et la saturation foncière qui en résulte, mais ils conservent des liens avec leur région d'origine. Au départ, les moyens techniques disponibles ne leur permettent de cultiver qu'une partie de l'espace qu'ils se sont approprié<sup>1</sup>. Dans les deux régions, les cultures pratiquées sont principalement le maïs, en relais avec des variétés rustiques de coton, le ricin et quelques cultures maraîchères pour la consommation familiale. La production s'oriente rapidement vers des cultures de rente (maïs, ricin, etc.) car la production de riz pluvial de ces zones de piémont n'est pas compétitive par rapport à la riziculture inondée des bas-fonds. Un petit commerce local se développe. Les « taokae », des commerçants souvent d'origine chinoise,

---

<sup>1</sup> Un jeune ménage (avec deux personnes actives) peut défricher et entretenir 8 ha environ. Ce sont généralement de jeunes couples qui partent à la recherche de nouvelles terres à coloniser.

**Tableau 4.1.** Histoire agraire du sous-district de Tha Sao, district de Saiyok, province de Kanjanaburi.

Transformations économiques et sociales		Transformations de l'agro-écosystème	
	Dates		
Dès la fin de la Seconde Guerre mondiale, les compagnies d'exploitation forestière sont actives dans la vallée. Migration progressive de colons originaires des zones basses; achat de terres à bas prix aux premiers occupants. Une première génération de commerçants commence à s'installer dans la zone.	1945	1965	Déforestation progressive des zones de faible pente dans le bas de la vallée.  Défrichement manuel et culture sur brûlis de riz pluvial et cultures maraîchères. La majeure partie de la production est autoconsommée
Les commerçants locaux ('taokaes') augmentent leur clientèle parmi les nouveaux migrants; ils fournissent des intrants et des biens de consommation; ils offrent un débouché local aux productions agricoles. Création d'un marché à Phu Ong Ka Ouverture de la première route en latérite (1968)	1966	1970	Introduction des premières variétés de cotonniers pour l'industrie textile : Stoneville 213 en 1964 suivi de Reba B50 en 1966. Introduction de tracteurs par les commerçants locaux : extension du système de culture relais maïs - coton, qui remplace les productions traditionnelles.
Les 'taokaes' ont mis en place un système de crédit informel avec les agriculteurs. La banque pour l'agriculture s'installe dans la zone en 1972 Le travail salarié est introduit dans les systèmes de production.	1971	1975	Les premiers intrants sont distribués par les 'taokaes': engrais chimiques, insecticides, pulvérisateurs manuels (pour contrôler les insectes piqueurs-suceurs du cotonnier). Introduction de l'élevage bovin.
Création d'une 'coopérative pour la réforme agraire', qui offre du crédit aux agriculteurs pour l'achat de terrains disposant de titres de propriété. Le gouvernement soutient la campagne de promotion de la culture cotonnière. Le Parc National de Saiyok est créé. Electrification des villages.	1976	1980	De nouvelles variétés de cotonnier plus productives sont vulgarisées (Tak Fah 1, Sri Samrong 2 et 3). Elle remplacent rapidement la variété pileuse Reba BTK12. Premières sérieuses infestations d' <i>H. armigera</i> en parcelles cotonnières (1980). Les pulvérisations insecticides sont intensifiées. La maladie bleue se propage dans les champs de cotonniers.
Réforme agraire dans la partie nord de la zone. Les défrichements deviennent officiellement illégaux. La population s'accroît de 5% par an à mesure que de nouveaux migrants viennent s'installer (12 habitants/km <sup>2</sup> dans la zone).	1981	1985	Des pulvérisateurs à moteur sont introduits par les gros producteurs de coton et les commerçants locaux. Des intrants de 'seconde génération' apparaissent sur les étagères des 'taokaes': herbicides, engrais foliaires, régulateurs de croissance, etc.
De plus en plus de migrants d'ethnie Môn, qui fuient l'insécurité en Birmanie, viennent s'installer dans toute la vallées. Ils fournissent de la main d'oeuvre bon marché. De nouveaux réseaux commerciaux voient le jour entre les 'taokaes' et les compagnies d'égrenage du coton. Un 'projet de production cotonnière intégrée' est lancé, mais son impact reste limité. Introduction de la variété de cotonnier Sri Samrong 60. Une compagnie privée lance un projet de sériciculture, avec une ferme pilote et un centre de formation pour les agriculteurs qui veulent se lancer dans cette nouvelle production. Apparition d'activités touristiques, qui offrent des emplois salariés dans la zone. Les salaires agricoles augmentent. La spéculation foncière entraîne une augmentation du prix des terrains d'environ 20% par an	1986	1990	Seconde attaque de chenilles <i>H. armigera</i> sur coton (jusqu'à 100% des surfaces sont détruites). De nombreux agriculteurs décident de se tourner vers d'autres productions. Des vergers fruitiers se développent. Le système de culture maïs-coton est souvent présent en interculture dans de jeunes plantations de tamarinier, manguiers, papayers, etc.  L'adoption de la sériciculture est limitée par manque de main d'oeuvre qualifiée, mais surtout d'eau d'irrigation, qui ne permet pas la production de mûrier en continu. De nombreux agriculteurs vendent leurs terrains vers le milieu de la vallée pour aller en acheter d'autres de surface supérieure, à moindre prix, en amont. La déforestation se poursuit dans certaines zones, malgré l'interdiction officielle depuis 1989.

**Tableau 4.2.** Histoire agraire du sous-district de Silathip, district de Chaibadan, province de Lopburi.

Transformations économiques et sociales	Transformations de l'agro-écosystème	
<p>Première cartographie de la zone par l'armée thaïlandaise. Le gouvernement se réfugie dans cette zone au moment de l'occupation japonaise.</p> <p>Construction de la route vers le Nord-Est du pays, qui traverse la zone de Chaibadan.</p> <p>Migration progressive de colons originaires des zones rizicoles. En 1957 une sécheresse exceptionnelle vient grossir encore le nombre de colons.</p> <p>Les premiers commerçants s'installent dans la région et vendent des biens de consommation. Ils sont souvent le seul lien des agriculteurs avec l'extérieur.</p>	<p><b>Dates</b></p>	<p>1945 1959</p> <p>La forêt est progressivement dégradée par les charbonniers, qui vendent aux nouveaux migrants un droit de préemption sur les terres défrichées.</p> <p>Défrichage manuel et culture sur brûlis de riz pluvial et cultures maraîchères pour l'autoconsommation familiale.</p>
<p>Les commerçants locaux ('taokaes') fournissent des intrants et offrent le seul débouché local aux productions agricoles.</p> <p>Les zones agricoles gagnées sur la forêt sont reconnues par le Département des forêts et passent sous la juridiction du Ministère de l'intérieur.</p> <p>Création d'infrastructures de communication dans les villages, installation des écoles, temples, administrations.</p>	<p>1960</p>	<p>1969 Production de maïs à grande échelle à partir d'une variété originaire du Guatemala (introduit par des projets de coopération américains).</p> <p>Les premières attaques de criquets détruisent une bonne partie de la récolte de maïs en 1962. Des avions de l'armée sont utilisés pour pulvériser du DDT. Ce produit est aussi largement utilisé par les services de santé dans la lutte contre la malaria.</p>
<p>Les 'taokaes' fournissent des intrants à crédit : engrais chimiques, insecticides, etc</p> <p>Grande mobilité des agriculteurs : vendent les terres nouvellement défrichées pour s'installer dans des zones vierges de superficie supérieure.</p> <p>Délivrance de titres de propriétés.</p>	<p>1970</p>	<p>1975 Introduction de tracteurs par les commerçants locaux. Période d'extension maximale des terres cultivées.</p> <p>Introduction de l'élevage bovin.</p>
<p>Projets de diversification des productions agricoles initiés par des compagnies étrangères.</p> <p>Achat d'équipements : tracteurs, appareils de pulvérisation insecticide, etc. par les agriculteurs.</p> <p>Création de coopératives agricoles par les services de vulgarisation, mais succès limité.</p> <p>La banque pour l'agriculture propose des prêts avantageux aux personnes qui possèdent un titre de propriété comme caution.</p> <p>Le travail salarié est introduit dans les systèmes de production.</p> <p>Niveau de population maximal jamais atteint dans la zone (6 à 12 enfants par famille).</p>	<p>1976</p>	<p>1982 Introduction des cultures de coton, haricot mungo, sorgho, soja, etc. Plusieurs cycles de cultures sont enchainés sur les mêmes parcelles chaque saison.</p> <p>Forte consommation d'intrants, favorisée par les politiques commerciales agressives des compagnies d'agro-chimie.</p> <p>Gros ravages de chenilles (<i>H. armigera</i>)</p> <p>Cotonniers dévastés par la maladie bleue : pulvérisations aériennes d'insecticides par le Département de l'agriculture.</p>
<p>Fort endettement des agriculteurs (beaucoup sont contraints de vendre leur équipement et même leurs terres aux 'taokaes')</p> <p>L'exode rural vide les villages.</p> <p>Nouvelle génération moins nombreuse : seulement 2 ou 3 enfants par foyers (résultat de la politique de planning familial). Les enfants en âge de travailler ne s'orientent pas vers l'activité agricole (tentent leur chance à Bangkok).</p> <p>La main d'oeuvre agricole devient très chère: (compétition avec les salaires de l'industrie à Bangkok).</p>	<p>1983</p>	<p>1988 Diminution rapide des surfaces cotonnières.</p> <p>Promotion de cultures à faible consommation d'intrants. Cependant, la mécanisation des opérations culturales (soja et maïs notamment) et l'utilisation de variétés hybrides augmentent les risques financiers.</p> <p>Plantation de forêts commerciales d'eucalyptus sur les terres récupérées par les 'taokaes'.</p> <p>Boom de l'élevage, la spéculation fait grimper les prix en deux ans. Ceux-ci retombent rapidement.</p>

<p>Accélération du processus de différenciation sociale. 1988</p> <p>Désagrégation des systèmes traditionnels d'entraide. Réduction des liens de clientélisme avec les 'taokaes'. Les agriculteurs cherchent à garantir leur indépendance financière et à limiter l'endettement.</p> <p>De grosses sociétés privées achètent des terres à de nombreux agriculteurs de la zone, de façon à former des blocs de 300 à 1500 ha (la surface moyenne d'une exploitation est d'environ 6 ha). En quelques mois le prix des terrains est multiplié par 100.</p> <p>Généralisation de la double activité chez les petits agriculteurs. Beaucoup d'entre eux sont employés par les compagnies agro-industrielles.</p>	<p>1994 Problème de déficit hydrique quatre années consécutives. Limitation à un seul cycle cultural par an. Processus de spécialisation des systèmes de production.</p> <p>L'installation d'une sucrerie dans la zone favorise le développement de la canne à sucre.</p> <p>Les firmes privées implantent des forêts commerciales (de teck ou eucalyptus) ou des vergers. Les premières années, elles occupent l'espace disponible dans les jeunes plantations par des cultures annuelles (maïs, maraîchage, etc.)</p> <p>Les agriculteurs disposant de capital (souvent grâce à la vente d'une partie de leurs terres) se tournent aussi vers l'arboriculture fruitière.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

s'installent pour troquer des produits de consommation contre la production agricole.

**1970-1975 : Phase de consolidation et de fonctionnement du système extensif.**

Un tissu social commence à s'organiser. Les institutions gouvernementales (villages, écoles, banques, etc.) s'installent. Un des objectifs du gouvernement est d'occuper l'espace au maximum pour contrer les mouvements de la guérilla communiste. La guerre d'Indochine fait rage dans les pays voisins.

L'introduction des premiers tracteurs par les commerçants locaux, au début des années 70, permet d'étendre progressivement les surfaces cultivées. On assiste à un développement extensif des cultures préexistantes, ainsi qu'à l'introduction de l'élevage bovin. Pour les agriculteurs, l'occupation de l'espace est plus importante que le rendement, car c'est une façon d'affirmer son droit de propriété sur des terrains sans titres fonciers. Il est de plus probable que des systèmes extensifs valorisent le travail (facteur rare de la production) mieux que ne le feraient des systèmes intensifs.

Les premiers intrants agricoles, engrais, insecticides sont distribués par les « taokaes », qui commencent à mettre en place des systèmes de crédit informel.

**1975-1985 : Phase de diversification et d'intensification de la production agricole.**

A cette période apparaissent les premiers problèmes de résistance des insectes aux produits phytosanitaires (DDT, Endrine, Toxaphene, etc.; cf. Annexe 2.2). Les agriculteurs cherchent des alternatives au cotonnier, devenu beaucoup moins rentable qu'auparavant. Les commerçants locaux leur proposent de nouvelles cultures (soja, sorgho, etc.) faibles consommatrices d'intrants. La promotion de ces productions, destinées principalement à l'industrie de l'aliment du bétail, participent de la politique gouvernementale pour une croissance agricole tournée vers les exportations. De nombreux projets, dits « intégrés », sont mis en place par les services de vulgarisation pour diversifier mais aussi intensifier la production. Ces programmes de développement associent des banques et des organismes privés à des groupements d'agriculteurs. Ils ont aussi pour objectif de supplanter les « taokaes » (soupçonnés de s'enrichir au détriment des paysans les plus pauvres) dans leur rôle d'intermédiaires commerciaux.

Des produits phytosanitaires de deuxième génération font leur apparition à la fin des années 70 : les pyréthrinoïdes. Ce facteur technique, associé à une politique d'encouragement du gouvernement, contribuent au boom de

la production cotonnière de 1980. Mais bien vite les phénomènes de résistance apparaissent à nouveau et mettent fin à trois années prospères.

1985-1995 : Période de **différenciation** économique et sociale.

Les campagnes se vident des petits agriculteurs, endettés par l'échec de la culture cotonnière ou à la recherche d'un revenu supérieur à celui que leur procure l'activité agricole. Cet exode rural fournit une main d'oeuvre bon marché à une industrie en plein essor. On assiste à une recomposition des relations sociales, qui font intervenir quatre types d'acteurs.

1. Les « taokaes » ont récupéré les terres des paysans endettés, et investi dans des cultures pérennes (vergers fruitiers ou forêts commerciales d'eucalyptus).
2. Les agriculteurs les plus aisés ont pu aussi augmenter leur superficie. Ils tendent aujourd'hui à se spécialiser (monoculture extensive - élevage).
3. Les petits agriculteurs se tournent vers une double activité. C'est souvent le quatrième groupe d'acteurs qui leur procure du travail.
4. Il s'agit de compagnies privées de grande taille qui ont généralement leur siège social à Bangkok. Elles ont commencé à acheter de très grands terrains (plusieurs centaines d'hectares) vers le début des années 90. Elles développent des activités touristiques dans la région de Kanjanaburi ou agro-sylvicoles (maraîchage biologique pour l'exportation ou les marchés de luxe de Bangkok, plantations de teck ou d'eucalyptus, etc.) à Lopburi. La spéculation foncière a mis aujourd'hui le prix de la terre hors de portée des agriculteurs (ce prix a été multiplié par 100 en deux ou trois ans).

La coïncidence des processus de transformation socio-économique des deux régions (à un ou deux ans près) est liée à des phénomènes d'envergure nationale. Le changement vient souvent de Bangkok, et ces deux zones à égale distance de la capitale ont été touchées au même moment.

## 4.4 TRANSFORMATIONS DU MILIEU BIOPHYSIQUE

Parallèlement aux évolutions du contexte socio-économique, évoquées ci-dessus, les régions de Kanjanaburi et Lopburi ont été touchées par de profondes transformations du milieu biophysique. La déforestation, les variations du climat ainsi que l'évolution du complexe parasitaire peuvent être analysées aussi bien comme des causes (flèche ⊕ du § 4.1) que comme des conséquences des pratiques agricoles (flèche ⊗).

### 4.4.1 *Le processus de déforestation*

A la base de l'ouverture à l'activité agricole des zones de Kanjanaburi et de Lopburi dans les années 50, le processus de déforestation a permis de tripler les superficies cultivées entre 1950 et 1990 à l'échelle nationale (Figure 4.3).

Dans la zone de Kanjanaburi, les entreprises d'exploitation forestière ont considérablement dégradé la forêt primaire entre 1970 et 1980 (VISETBHAKDI, 1989). Le front pionnier a ensuite progressé à mesure que les colons finissaient de défricher ces zones pour les ouvrir à l'activité agricole. La surface agricole a doublé entre 1980 et 1990 (Figure 4.4). Seules les zones impraticables (trop pentues ou caillouteuses), les terrains militaires ou les réserves naturelles (sous la juridiction du Département des forêts) ont été préservées. La province de Kanjanaburi demeure cependant une des provinces les plus riches en forêt du pays. Quant à Lopburi, la forêt ne représentait déjà plus que 4,8% de la surface de la province en 1980 et 3,4% en 1990.

Outre l'érosion, phénomène directement observable, la déforestation pourrait avoir joué un rôle sur les évolutions climatiques de ces dernières années (DAVID et GARIN, 1987; BEAUD *et al.*, 1994).

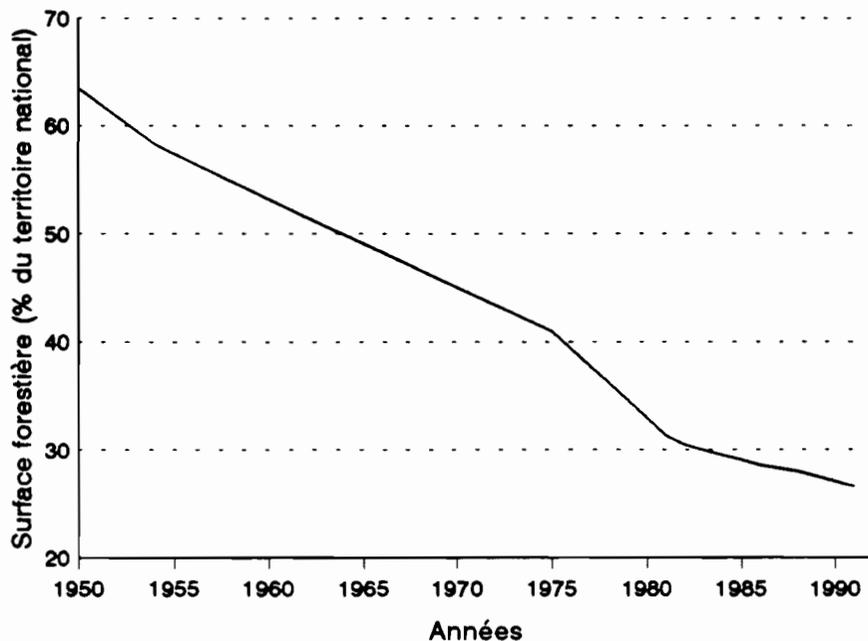
### 4.4.2 *Evolution du régime pluviométrique*

Une diminution de la pluviométrie est souvent l'argument invoqué par les agriculteurs pour expliquer l'évolution récente des pratiques culturales.

#### ■ *Les variations interannuelles de la pluviométrie*

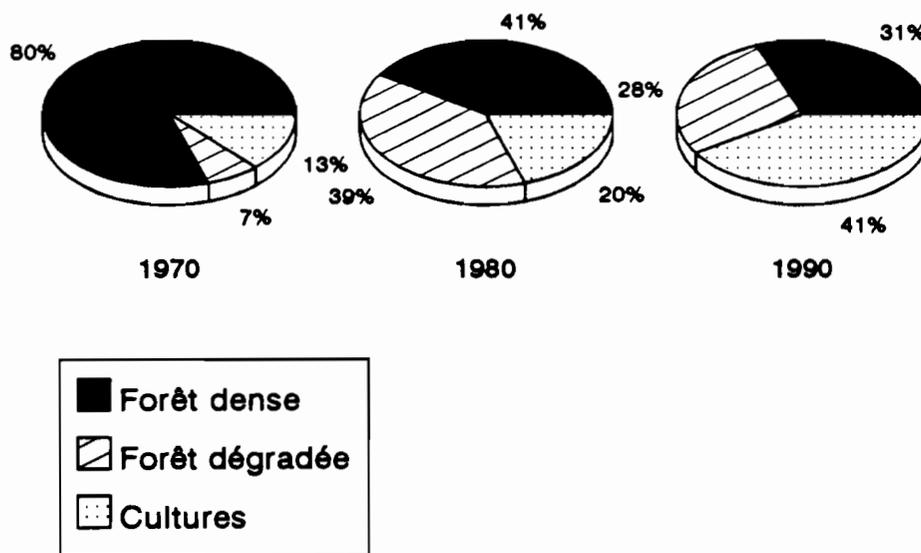
La figure 4.5 témoigne d'une forte diminution de la pluviométrie sur le site de Lopburi, ces dernières années. Phénomène naturel ou lié à l'action de l'homme sur son environnement, cette situation entraîne la disparition des systèmes de culture traditionnels fondés sur deux ou trois cycles par saison.

**Figure 4.3.** Evolution de la part du territoire national couverte de forêts entre 1950 et 1990. Exprimé en pourcentage de la surface totale, égale à 51 352 000 ha.



Sources: Département des forêts, Ministère de l'agriculture et des coopératives de Thaïlande, et (HIRSCH, 1987).

**Figure 4.4.** Déforestation et expansion des surfaces agricoles au cours de trois dernières décennies dans le nord de la province de Kanjanaburi (TREBUIL *et al.*, 1994).



### ■ *Les changements du régime pluviométrique saisonnier*

Le système de culture relais maïs-coton consiste à semer le maïs vers le 15 avril pour une récolte au mois d'août. Le cotonnier est implanté entre les rangs de maïs deux semaines à un mois avant sa récolte. Cette association n'est possible que si la saison culturale est suffisamment longue. Mais depuis cinq ans, les pluies sont de plus en plus tardives. La figure 4.6 montre que le semis de maïs est devenu plus risqué en avril : la levée peut être perturbée par une répartition irrégulière des pluies. Mais l'aléas le plus important est lié à un déficit hydrique au moment de la fécondation, en juin. Cette situation a contraint les agriculteurs de Lopburi à retarder le semis de maïs au mois de mai, et à ne pratiquer qu'un seul cycle par an.

Les changements climatiques ne jouent pas seulement sur le potentiel de production. Différents auteurs ont montré que les variations de température et de pluviométrie ont des conséquences sur les cycles biologiques des insectes ravageurs (RASMIDATTA, 1984, PANAPANANAN, 1991; BROWN *et al.*, 1993). Ainsi, les années à forte pression de jassides correspondent généralement à des précipitations très précoces dans la saison (février ou mars), suivies d'une période sèche prolongée avant le début de la saison des pluies proprement dite (DEEMA *et al.*, 1974).

#### *4.4.3 Evolution historique du complexe parasitaire*

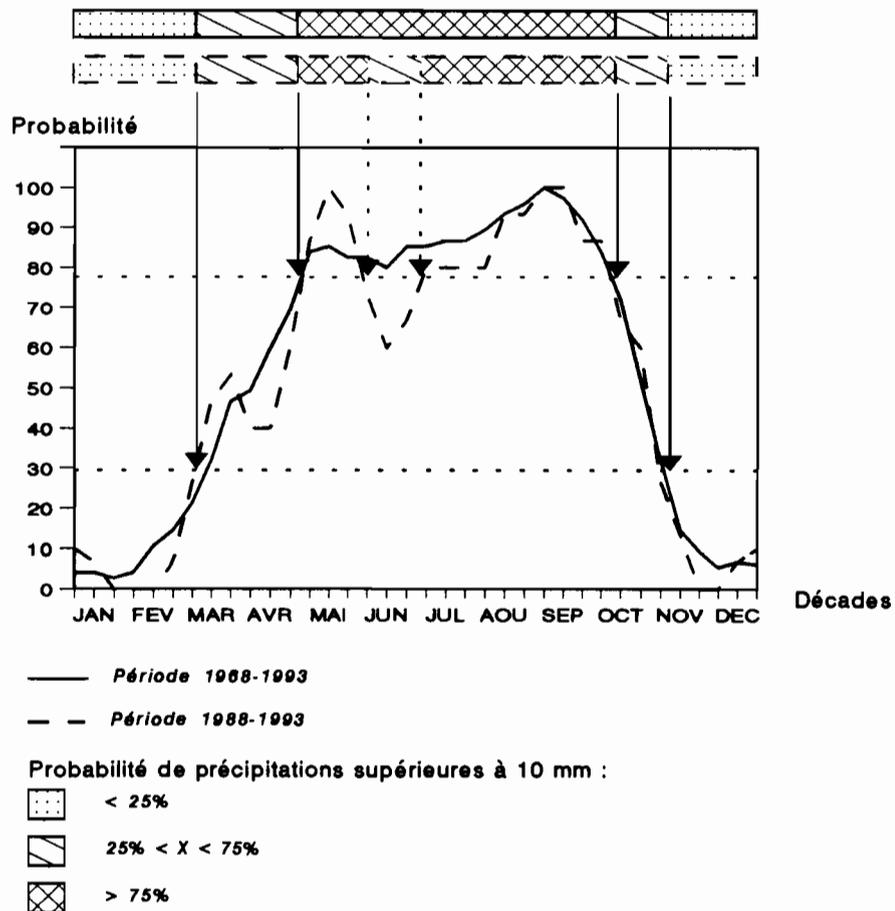
### ■ *La composition de l'entomofaune*

L'évolution du complexe parasitaire du cotonnier en Thaïlande, depuis l'ouverture à l'activité agricole de zones de forêts primaires au sortir de la Seconde Guerre mondiale jusqu'à nos jours, est associée à un processus d'artificialisation du milieu par l'homme. Les équilibres écologiques qui prévalaient dans les systèmes forestiers par le jeu des régulations naturelles des populations d'insectes ont été rompus par les défrichements et la mise en place de systèmes de culture presque exclusivement fondés sur l'association maïs - coton (GRIMBLE, 1973). L'uniformisation du couvert végétal a eu pour conséquence des pullulations de criquets dans les zones de piémont à la périphérie de la Plaine Centrale. Des milliers d'hectares de culture ont été dévastés par ces ravageurs au début des années soixante incitant les agriculteurs à diversifier leurs productions (JALAVICHARANA, 1969). Des insecticides de type organochlorés (DDT, toxaphène, etc.) ont été pulvérisés par avion, sous le contrôle du Département de l'agriculture. Parallèlement, les programmes d'éradication des moustiques vecteurs du paludisme employaient les mêmes techniques. Ces pulvérisations insecticides à fortes doses et sur de larges zones géographiques ont contribué à transformer le faciès de l'entomofaune.

**Figure 4.5.** Evolution de la pluviométrie annuelle sur le site de Lopburi (1969-1993). Moyenne mobile sur trois ans.



**Figure 4.6.** Distribution des fréquences d'observation d'une pluviométrie supérieure à 10 mm sur une décade. La courbe en trait plein correspond aux 25 dernières années, celle en pointillés aux cinq dernières années.



Cependant, jusqu'alors, aucun produit chimique n'était utilisé dans le cadre des activités agricoles. Dans les années soixante-dix, l'introduction de variétés de cotonniers à fort potentiel de production fut associée à l'utilisation d'insecticides (Annexe 4.2). Par la suite, l'évolution du spectre parasitaire a été largement influencée par la nature des matières actives et l'intensité de pulvérisation.

Nous avons étudié l'évolution de l'entomofaune déprédatrice du cotonnier en comparant quatre références bibliographiques datant de 1936, 1965, 1984 et 1991 (Annexe 4.3). Les résultats obtenus montrent que certains insectes considérés comme des ravageurs mineurs sont devenus au cours du temps des contraintes phytosanitaires majeures. C'est le cas notamment des chenilles *Helicoverpa armigera*, qui sont apparues à la faveur des traitements dirigés contre les jassides *Amrasca biguttula*. Plus récemment, de fortes populations d'aleurodes (*Bemisia tabaci*) ont été relevées en fin de saison, en raison semble-t-il de l'usage intensif de pyréthrinoides tout au long du cycle cultural.

Ces évolutions du complexe parasitaire peuvent être comparées à celles décrites par MATTHEWS (1989) dans la région de Gezira, au Soudan. Elles sont interprétées comme la résultante d'une transformation de la part relative des différentes cultures dans l'agroécosystème.

En 1979, LAWSON (cité par EVENSON, 1987) a étudié la distribution spatiale et temporelle d'*H. armigera* dans l'agro-écosystème maïs-cotonnier de la zone de Chaibadan (province de Lopburi). Les conclusions de ses travaux sont les suivantes:

- les premières générations de chenilles sur cotonnier proviennent du transfert depuis les champs de maïs. Les comptages d'adultes femelles au mois d'août dans le maïs (sur une surface donnée) multipliés par le rapport 'surfaces en maïs / surfaces cotonnières' donnent de bonnes estimations des attaques précoces de chenilles sur cotonnier.
- les papillons d'*H. armigera* sont observés dans les parcelles de sorgho au mois d'octobre, puis dans les adventices en novembre.
- les adultes pondent dans le soja en août-septembre. Les parcelles en soja à cette période sont une source de réinfestation tardive des cotonniers en septembre-octobre.

L'émergence d'*H. armigera* comme une contrainte majeure de la production cotonnière peut donc être expliquée en confrontant ces résultats de recherche à l'évolution des systèmes de culture, dans les zones de Kanjanaburi et Lopburi.

A Kanjanaburi, le relais maïs-coton fait cohabiter les deux cultures sur les mêmes parcelles, assurant le transfert des ravageurs de l'une à l'autre sans faire intervenir

de mouvements migratoires de grande amplitude. Ce système de culture dominant explique l'équilibre des superficies en maïs et en cotonniers (Figure 4.7).

Par contre, à Lopburi le maïs représente plus de dix fois les surfaces cotonnières. Même si cette dernière production est pratiquée en culture pure, deux générations d'*H. armigera* peuvent se développer dans le maïs, qui domine largement l'écosystème, avant de se propager dans les cotonniers. Le chevauchement des calendriers culturels (Figure 4.8) favorise aussi le transfert des insectes, qui trouvent des plantes hôtes environ neuf mois par an. Huit à neuf générations d'*H. armigera* peuvent donc se succéder, d'abord sur le maïs, puis sur le soja ou le cotonnier, enfin sur le sorgho.

L'association maïs-coton au sein de l'agroécosystème favorise donc les pullulations d'*H. armigera*.

#### ■ *La résistance des insectes aux produits phytosanitaires*

L'évolution de l'entomofaune sous l'effet des insecticides prend aussi la forme plus insidieuse d'un phénomène de résistance des insectes. Insidieuse, car elle n'est pas perceptible par les agriculteurs. Ils constatent seulement que les mêmes pratiques conduisent à des résultats inférieurs à ceux auxquels ils avaient l'habitude. Mais est-ce dû à la résistance du ravageur, à des conditions d'application de l'insecticide défavorables (pluie, problème de sous-dosage ou de choix de la matière active, etc.), ou même à une combinaison de ces deux facteurs?

Les travaux réalisés en parcelles expérimentales par SINCHAI SRI (1988) témoignent effectivement d'une diminution de l'efficacité de différentes matières actives du groupe des pyréthrinoïdes sur *H. armigera* (Figure 4.9).

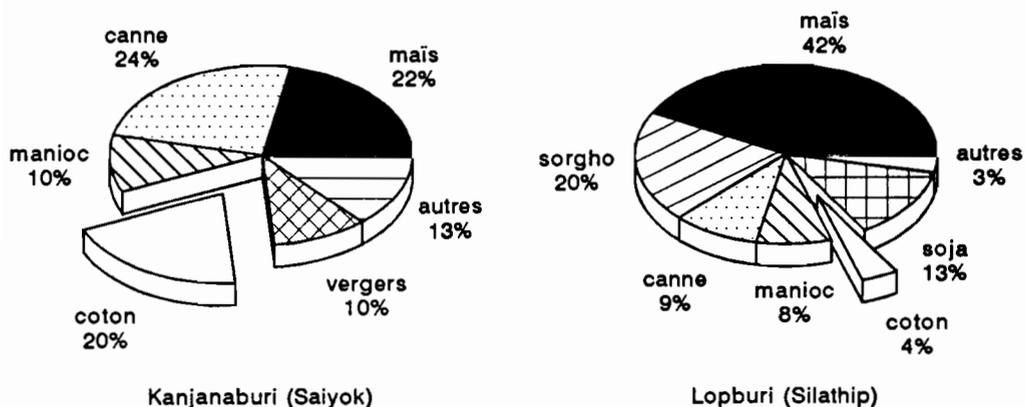
Mais pour vérifier s'il s'agit d'un phénomène de résistance, des tests au laboratoire s'imposent<sup>1</sup>. Quelques résultats, issus des analyses du Département de l'agriculture sur *H. armigera*, sont présentés dans le Tableau 4.3. Ils révèlent plusieurs points importants :

- les niveaux de résistance aux pyréthrinoïdes de synthèse (fenvalerate, cyperméthrine, deltaméthrine) sont toujours élevés,

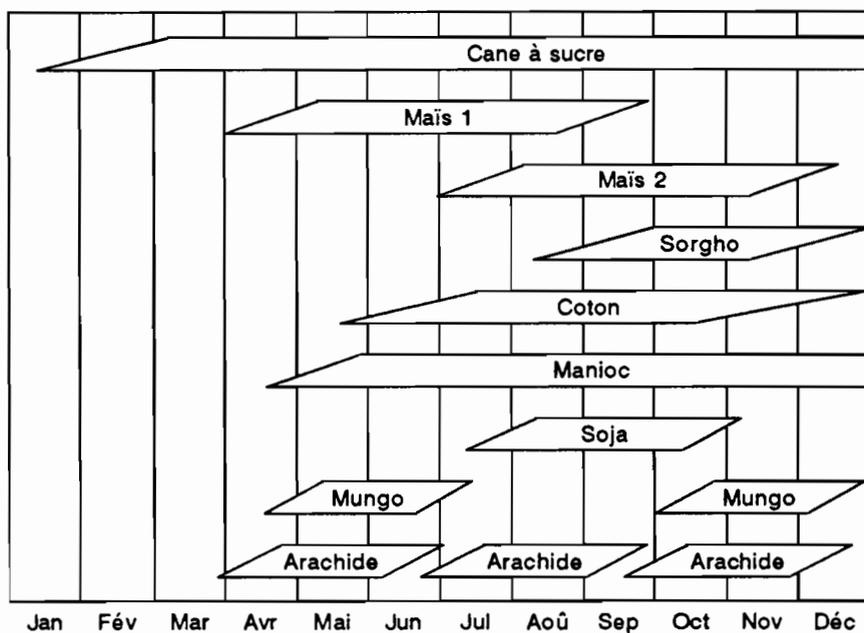
---

<sup>1</sup> La seule façon de confirmer la résistance consiste à comparer un échantillon d'insectes collectés dans la nature avec une souche sensible de référence. La méthode la plus couramment utilisée, pour détecter une souche résistante, est de la soumettre à des doses croissantes d'insecticide afin de déterminer la relation entre la dose de produit toxique et la mortalité. Une analyse de régression donne le DL50 (dose létale moyenne pour 50% des individus de la population). Le niveau de résistance est calculé en établissant le rapport entre le DL50 de la souche résistante et celui de la souche sensible.

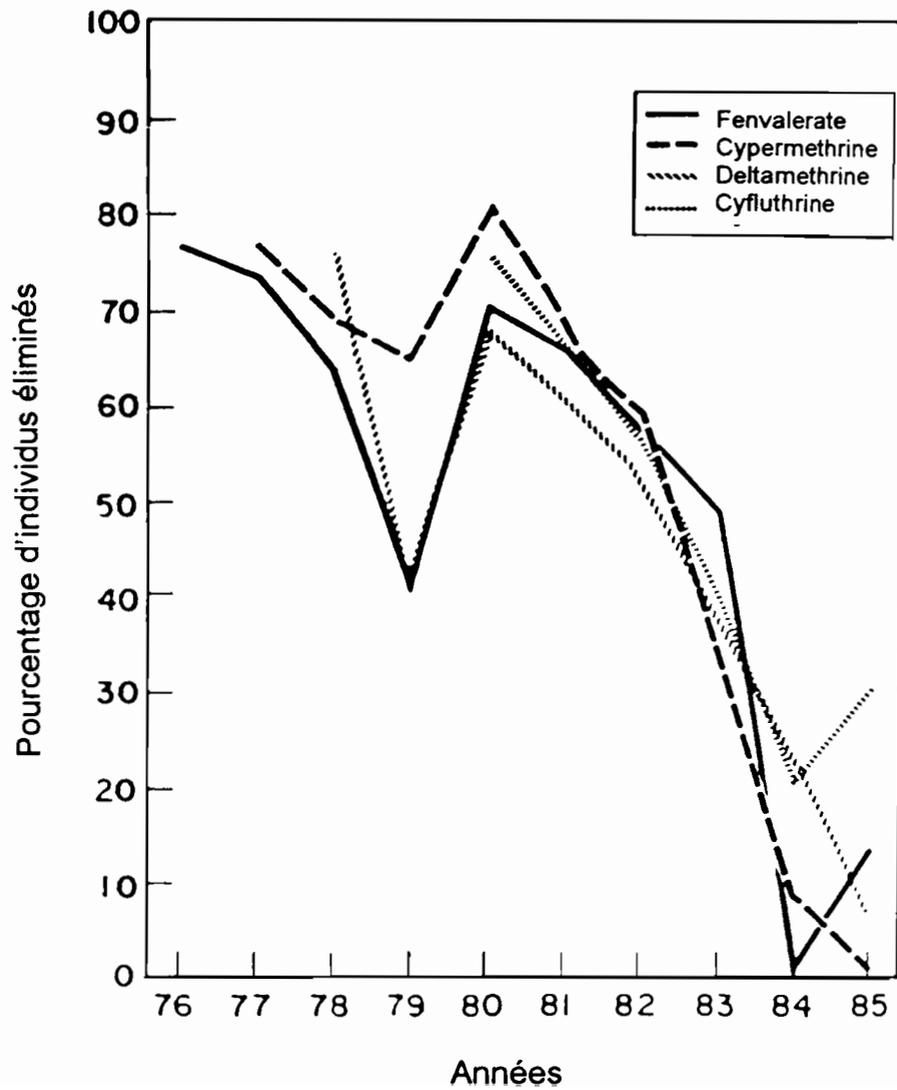
**Figure 4.7.** Distribution des superficies des principales cultures des deux zones d'étude : districts de Saiyok (province de Kanjanaburi) et district de Chaibadan (province de Lopburi).



**Figure 4.8.** Calendriers culturaux des principales cultures pluviales pratiquées dans les deux zones d'étude.



**Figure 4.9.** Evolution de l'efficacité des pyréthrinoïdes de synthèse pour le contrôle d'*H. armigera* en culture cotonnière, Thaïlande, 1976-1985 (SINCHAI SRI, 1988).



- d'importantes variations interannuelles se manifestent, ainsi que des différences régionales notables. Les niveaux de résistance relevés dans la province de Lopburi sont supérieurs à ceux de Kanjanaburi.
- on ne constate pas de résistance aux organophosphorés (sulprophos, methylparathion) ni à l'endosulfan. Par contre la résistance au DDT (du groupe des organochlorés comme l'endosulfan) reste élevée, malgré l'arrêt de son utilisation depuis 1985.

Le problème de résistance ne touche pas seulement *H. armigera* : les pucerons et jassides présentent aussi des DL50 très variables dans le temps et dans l'espace (Tableau 4.4).

Peu de travaux ont été réalisés de façon systématique et sur des échantillons suffisamment importants pour permettre de tirer des conclusions à portée générale dans le cas thaïlandais. Il est difficile de mettre en évidence des évolutions de la résistance. Par ailleurs, les diminutions observées dans certaines zones sont probablement liées à une réduction des surfaces cotonnières à l'échelle régionale (GENAY, 1994).

**Tableau 4.3.** Résistance aux principaux groupes d'insecticides de souches d'*H. armigera* collectées dans les provinces de Nakhon Sawan, Lopburi et Kanjanaburi en Thaïlande (OUCHAIKON, 1991). Le niveau de résistance est calculé en établissant le rapport entre le DL50 (dose létale moyenne pour 50% des individus de la population) de la souche collectée dans la nature (résistante) et celui de la souche sensible de référence (d'origine australienne).

Province	Année	Produits insecticides						
		Organo-chlorés		Organo-phosphatés		Pyréthroïdes		
		DDT	Endosulfan	Sulprofos	m-parathion	fenvaterate	deltaméthrine	cyperméthrine
Nakhon Sawan	1986	124	1.3	0.5	-	16.9	7.3	-
	1987	-	4.4	1.2	-	8.7	2.6	-
	1988	-	0.3	0.8	-	8.3	2.6	-
	1989	-	0.7	3.7	-	18.8	13.6	26.4
Lopburi	1986	-	0.5	0.7	-	8.0	4.6	-
	1987	-	0.8	2.1	-	2.6	3.3	12.7
Kanjanaburi	1989	-	0.2	0.8	1.3	1.9	2.0	6.9

**Tableau 4.4.** DL50 (dose létale moyenne pour 50% des individus de la population) des jassides *Amrasca biguttula* (Ishida) collectées à Lopburi, et Nakhon Sawan (OUCHAIKON, 1991). Les deux matières actives utilisées appartiennent au groupe des organo-phosphorés.

Province	Année	Insecticide	
		Omethoate	Monocrotophos
Nakhon Sawan	1988	44.0	20.4
Sawan	1989	45.5	10.63
Lopburi	1987	176.1	118.1

## 4.5 ROLE DES ACTEURS DE LA FILIERE COTONNIERE DANS LA SITUATION ACTUELLE DE CRISE

### 4.5.1 *Les institutions publiques :*

*Une politique cotonnière partagée entre la promotion d'une autosuffisance nationale et un approvisionnement à moindre coût de l'industrie textile.*

#### 4.5.1.1 Les infrastructures

A l'origine du développement de la culture cotonnière, l'ouverture puis l'extension des fronts pionniers, à la périphérie de la Plaine Centrale, ont été favorisées par la politique du gouvernement (SETBOONSARNG et WERAKARNJANAPONGS, 1988). Il s'agissait non seulement d'assurer la croissance agricole sur un modèle extensif, mais aussi de sécuriser ces zones, refuges des bandits de grand chemin puis de la guérilla communiste et autres opposants politiques.

Dans la province de Kanjanaburi comme celle de Lopburi, l'installation d'infrastructures de communication a permis la migration des premiers colons. Puis, les écoles et les administrations locales ont suivi. Les campagnes d'éradication du paludisme, menées par le ministère de la santé, ont aussi été un facteur de développement de ces régions.

#### 4.5.1.2 La recherche cotonnière

Dans les premiers temps, des moyens considérables furent investis dans le domaine de la sélection variétale afin d'obtenir des cotonniers aux caractéristiques de qualité et de productivité améliorées. Des cultivars originaires des Etats Unis et d'Afrique furent importés et croisés avec les cotonniers cambodgiens à la station du Département de l'Agriculture de Sri Samrong. La pilosité des feuilles des variétés SK13, SK32 et SK14 ainsi obtenues, leur conférait une protection naturelle contre les jassides (*Amrasca biguttula*), principal insecte ravageur de la culture à cette période (ANTHONY et JONES, 1963). Mais les cultivars introduits à la fin des années soixante, dans le cadre du «Colombo Plan» par les conseillers anglais et français auprès du Département de l'Agriculture, eurent plus de succès en raison d'un potentiel de production jusqu'alors inégalé ainsi que de caractères de résistance au flétrissement bactérien (Annexe 4.3). Les feuilles glabres des variétés américaines (Stoneville et Deltapine Smooth Leaf) imposaient cependant l'utilisation d'insecticides contre

les jassides afin d'exprimer les potentialités de ces cotonniers moins rustiques. Cependant, les résultats en terme d'augmentation du rendement en parcelle paysanne ne furent pas à la hauteur des succès expérimentaux du Département de l'agriculture, principalement en raison de la contrainte parasitaire.

Différents programmes de coopération internationale ont été développés depuis celui du *Colombo plan*, notamment avec l'Australie (EVENSON, 1987) et les Nations Unies (FAO/UNDP, 1989). Leurs conclusions étaient que le potentiel génétique et agronomique de production était atteint (3800 kg/ha en parcelles expérimentales), et que l'effort de recherche devait porter principalement sur la protection de la culture. Plusieurs essais de contrôle biologique des ravageurs ont donné des résultats décevants, en terme de productivité, au regard de la lutte chimique (DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1990). Les déséquilibres écologiques déjà atteints sont peut être à l'origine de leur relative inefficacité (GENAY, 1994).

Il semble par ailleurs que l'effort de recherche se soit concentré sur les quelques années 'prospères' où la production atteignait des sommets<sup>1</sup>, et qu'ensuite les agriculteurs comme les chercheurs se soient tournés vers d'autres cultures (NAPOMPETH, comm. person.). Par ailleurs, il est à noter que les méthodes de recherche développées en Thaïlande sont essentiellement fondées sur l'importation puis l'adaptation de paquets technologiques au contexte biophysique local. La plupart des travaux, menés en station, semblent bien éloignés de la réalité de la production cotonnière (EVENSON, 1987).

#### 4.5.1.3 La vulgarisation agricole

Les services de vulgarisation agricole thaï (sous la responsabilité du Ministère de l'agriculture et des coopératives) ont adopté dès 1977 le système « formation et visites » proposé par la Banque Mondiale (BENOR et MICHAEL, 1984). Un fonctionnaire, affecté à chaque sous-district (une dizaine de villages environ), est chargé de transmettre aux agriculteurs les innovations issues de la recherche, par l'intermédiaire de visites régulières sur leurs exploitations. Les connaissances techniques des agents de vulgarisation sont 'remises à jour' deux fois par mois au cours de sessions de formation continue.

PHONGPRAPAI et SETTY (1988) ont cherché à évaluer l'efficacité de ces méthodes de transfert d'information par une enquête auprès d'agriculteurs et d'agents de vulgarisation locaux. Ils tirent différentes conclusions, qui confirment les observations réalisées au cours de nos propres enquêtes :

---

<sup>1</sup> Début des années 70 sous l'impulsion du *Colombo plan* et début des années 80 avec la politique gouvernementale de soutien de la production cotonnière.

- Les agents de vulgarisation connaissent très bien leur zone d'activité et entretiennent généralement de bonnes relations avec les agriculteurs.
- Mais les producteurs soulignent le manque de connaissance théorique des personnels d'encadrement, qui ne parviennent que rarement à répondre aux questions techniques qui leur sont posées.
- Les vulgarisateurs sont polyvalents; ils sont censés aborder toutes les productions agricoles régionales. Souvent, ils s'intéressent à certaines plus qu'à d'autres, par goût personnel, et délaissent les cultures dites « difficiles ».
- Ces fonctionnaires se plaignent des enseignements qu'ils reçoivent des chercheurs du Département de l'agriculture, peu adaptés à leurs problématiques de développement agricole. Par ailleurs, ils soulignent le manque de moyens techniques et financiers ainsi que la lourdeur des tâches administratives qui accaparent une grande partie de leur temps.
- Pour leur part, les chercheurs remarquent qu'ils reçoivent peu de retour d'information des agents de terrain.

Au fil des années, une sorte de rivalité s'est instaurée entre les deux services clef de l'encadrement agricole : le Département de l'agriculture (DOA) et celui de la vulgarisation (DOAE)<sup>1</sup>. Aujourd'hui, la coordination des activités de recherche et de développement entre ces deux institutions est l'un des points faibles du dispositif d'encadrement agricole. Le système officiel de vulgarisation est d'ailleurs aujourd'hui en pleine restructuration (DEPARTMENT OF AGRICULTURAL EXTENSION, 1994).

La conséquence de cette situation, aggravée par le manque de moyens affectés aux activités de vulgarisation, est la rareté des innovations techniques, concernant la culture cotonnière, qui furent adoptées par les agriculteurs (NAPOMPETH, 1993).

Dans le domaine de la protection phytosanitaire les actions de vulgarisation sont limitées le plus souvent à l'édition d'une brochure, qui fait l'inventaire des marques commerciales, classées par ordre de qualité, et recommande des doses d'application. Malheureusement ces efforts restent souvent vains, car mêmes si les agriculteurs sont

---

<sup>1</sup> En 1987, confrontés à un grave problème de maladie bleue sur cotonniers dans la province de Lopburi, les deux services ne sont pas parvenus à se mettre d'accord sur la méthode à mettre en oeuvre pour résoudre le problème. Au lieu de collaborer, ils se sont partagés le territoire infecté pour tester leurs solutions respectives. Le DOA a facturé aux agriculteurs des épandages d'insecticides par avion contre les pucerons, insecte vecteur de la maladie. Certains producteurs sont encore endettés aujourd'hui! Le DOAE a préconisé les méthodes traditionnelles d'arrachage des plants atteints et de traitements insecticides. Les agriculteurs ont aussi perdu leur récolte mais le coût était moindre.

conscients de l'intérêt des recommandations, ce sont les intermédiaires villageois qui choisissent les produits, la plupart du temps sur des critères peu scientifiques!

Parmi les autres mesures destinée à promouvoir la culture cotonnière et à s'assurer la collaboration des agriculteurs, on peut citer la distribution gratuite de semences<sup>1</sup> et de petites quantités d'insecticide. Mais ces petits cadeaux ne semblent pas suffisants pour atteindre les objectifs de relance de la production.

Des programmes intégrés de promotion de la culture cotonnière sont lancés régulièrement par le Département de la vulgarisation<sup>2</sup>, qui associent différents organismes autour de groupes de producteurs. Les banques fournissent du crédit à taux réduits<sup>3</sup>, les usines d'égrenage assurent le débouché, et la vulgarisation prend en charge l'encadrement technique. Mais l'écueil est toujours le même : la maîtrise du parasitisme. Les attaques d'insectes sont venues à bout de bien des contrats par le passé (TRIVITHAYACUN, 1980).

#### 4.5.1.4 Les structures de crédit

Les principales institutions engagées dans l'attribution de crédits agricoles sont les suivantes :

- la Banque de Thaïlande (BOT),
- la Banque pour l'agriculture (BAAC),
- les Banques commerciales,
- les associations et coopératives agricoles (DAVID et GARIN, 1987).

La BAAC délivre la majeure partie des crédits. Elle a contribué à la mécanisation rapide de la zone de Lopburi dans les années 80, après plusieurs années de bonnes récoltes. A l'échelle nationale, le nombre d'emprunteurs et le volume de crédits accordés pour l'équipement des exploitations en machines agricoles a été multiplié par 4 en 2 ans (ONCHAN, 1983).

Cependant, les plus petits agriculteurs ont rarement bénéficié de ce type de crédit pour plusieurs raisons :

---

<sup>1</sup> Le secteur public n'a jamais été en mesure de fournir plus de 15% des besoins en semences certifiées aux agriculteurs. La plus grande partie de la production issue des parcelles de multiplication du Département de l'Agriculture est destinée aux expérimentations de différents services du Ministère de l'Agriculture. La production et la commercialisation de semences est encore aujourd'hui assurée par les usines d'égrenage, bien que la qualité du produit ait été à plusieurs reprises mise en question (faible pouvoir germinatif, variétés mélangées, etc.) (SETBOONSARNG *et al.*, 1991).

<sup>2</sup> Le dernier en date concerne la campagne 1994 sur 15.000 ha environ (DOAE., 1994).

<sup>3</sup> 12% par an pour les banques commerciales et la Banque pour l'agriculture (BAAC, organisme public) contre 36 à 60% annuels pour les commerçants locaux.

- L'emprunt est le plus souvent réalisé en nature afin d'éviter que les sommes ne soient détournées à des usages non productifs. Il concerne généralement de gros investissements en équipement agricole.
- Une garantie est nécessaire pour l'octroi d'un prêt. Seuls les agriculteurs qui disposent d'un titre de propriété peuvent donc y prétendre.
- Les démarches administratives ainsi que les délais d'obtention du crédit sont assez longs.

Dans la zone de Kanjanaburi, seuls les commerçants locaux possèdent des tracteurs. En effet, très peu d'agriculteurs possèdent des titres de propriété, sur des terres encore enregistrées officiellement en forêts. En 1984, moins de 15% des agriculteurs disposaient des garanties suffisantes pour pouvoir prétendre à ce type de crédit (ONCHAN, 1984). Le problème foncier a donc des répercussions majeures sur le développement agricole de ces régions (FEDER *et al.*, 1988).

Tous les agriculteurs des zones tournées vers les cultures de rente ont recours à des crédits de campagne. S'ils n'ont pas accès au système formel, ils sont financés par les commerçants locaux, qui ne posent pas de questions sur l'utilisation des sommes, ne demandent aucune garantie autre que le droit d'acheter la production, et donnent l'argent le jour même. Cette grande flexibilité fait leur force. La contrepartie des avantages offerts par le secteur informel est un taux de crédit particulièrement élevé : de 3 à 10% par mois (contre 12,5% par an pour la BAAC en 1994).

A la fin des années 80 la BAAC a cherché à toucher une plus large gamme d'agriculteurs en assouplissant les conditions d'emprunt. Elle a accordé des prêts à des groupements de producteurs ne disposant pas de garanties foncières. Ils gèrent cette somme entre les différents membres du groupe et sont solidairement responsables du remboursement. Par ailleurs, une partie seulement du prêt était attribuée en nature. Ce système a eu du succès à ses débuts, mais les groupements de producteurs se sont rapidement désolidarisés lors des années de mauvaise récolte.

#### 4.5.1.5 Une politique fiscale favorable aux importations de fibre de coton sur le marché mondial

La politique cotonnière du gouvernement est partagée entre différents objectifs quelque peu contradictoires. Elle cherche à soutenir la production intérieure de fibre de coton afin d'assurer une relative indépendance du pays pour l'approvisionnement en matière première. Mais face à la faiblesse de celle-ci, qui ne parvient pas à satisfaire les besoins de l'industrie en aval de la filière, elle se voit contrainte de faciliter les importations de coton afin de favoriser la croissance du secteur textile.

Le soutien du gouvernement à la première industrie manufacturière du pays s'est exercé de façon directe: investissements public dans différentes compagnies, avantages fiscaux, recherche de capitaux étrangers, protections douanières pour la commercialisation des produits finis, etc. ou indirecte, par le maintien du prix des matières premières importées à des niveaux relativement faibles (CHITKRUA, 1980). L'ensemble de la fibre importée fait l'objet d'une taxe douanière de 33 Satang<sup>1</sup> par kilogramme, soit 2 à 3% du prix «livré Bangkok». Par contre, les filés et tissus de coton sont taxés à 25 et 40% respectivement, assurant une protection pour l'industrie textile qui peut se fournir à moindre coût sur le marché mondial. Cette politique fiscale a largement influencé le prix du coton-graine aux agriculteurs thaïlandais.

Au début, l'incapacité de la production nationale à couvrir les besoins du secteur textile a joué en faveur du prix payé aux agriculteurs. Cependant, lorsque ceux-ci ont été confrontés aux problèmes techniques de maîtrise du parasitisme, ces prix élevés (par rapport au marché mondial) ne sont pas parvenus à compenser l'augmentation des coûts de production. La faiblesse des taxes douanières sur la fibre de coton a favorisé les importations et hypothéqué une possible relance de la production locale.

Finalement, mis à part le rôle actif de l'Etat en matière de développement des infrastructures, la politique agricole n'a eu qu'un impact limité sur les modalités de développement de la culture cotonnière. Les travaux de recherche ont obtenu des résultats décevants, d'autant plus que leur application sur le terrain a pâti du manque de coordination avec le Département de la vulgarisation agricole. L'interface entre agriculteurs et recherche fonctionne mal. Le poids du secteur public sur l'avenir du coton en Thaïlande reste lié, par conséquent, aux initiatives personnelles de quelques agents de développement.

Les modalités de l'intervention financière de l'Etat, que ce soit en terme de prix, de crédit (par l'intermédiaire de la Banque pour l'agriculture) ou de fiscalité, semblent laisser le champ libre à l'initiative privée. Ainsi, la diffusion de nouveaux modèles techniques est largement prise en charge par le secteur privé, encadrant de manière extrêmement efficace l'amont comme l'aval du processus de production.

---

<sup>1</sup> 1 Baht = 100 Satang, 1 FF = 4,5 Bahts environ.

## 4.5.2 Le secteur privé

Le secteur privé est présent à toutes les étapes de la filière: de l'agro-fourniture à la transformation du coton. Historiquement, il a joué un rôle considérable dans la structuration de l'industrie textile. La compagnie américaine d'agrochimie Exxon est à l'origine de l'introduction des pesticides associés aux variétés à fort potentiel de production, dans les années 70. Les investissements étrangers ont favorisé le développement des filatures. Mais la production s'est organisée autour des égreneurs et des commerçants locaux, en contact direct avec les agriculteurs. Nous allons voir à présent comment les logiques de ces différents acteurs ont contribué aux problèmes actuels de la production cotonnière.

### 4.5.2.1 L'aval de la filière : les usines d'égrenage et les filatures

#### 4.5.2.1.1 Rôle des égreneurs sur le prix du coton payé aux producteurs

Nous avons vu au paragraphe précédent que le prix du coton produit localement est largement dépendant des cours mondiaux. En effet, pour leur approvisionnement en matière première, les filateurs mettent en concurrence les compagnies d'import-export avec les égreneurs, qui commercialisent la fibre thaï. Ces derniers fixent le prix au producteur en fonction du cours mondial, du niveau de l'offre locale par rapport à la demande de l'industrie ainsi que des coûts de transformation, commercialisation, transport, etc. Les prix sont ensuite répercutés sur les agriculteurs par leurs intermédiaires locaux.

#### 4.5.2.1.2 Conséquences sur la qualité du coton thaï

Par ailleurs, le décalage entre l'offre nationale et la demande de l'industrie textile en matière première a contribué à la baisse de qualité de la production thaï.

Dans les années soixante, le nombre d'usines d'égrenage privées augmenta rapidement, pour suivre le développement de la culture cotonnière. En 1970, 86 d'entre elles égrenaient l'ensemble de la production nationale. La plupart étaient équipées d'égreneuses à rouleau, matériel relativement simple, mais 12 d'entre elles avaient investi lourdement dans des égreneuses à scies, qui imposaient de traiter plusieurs milliers de tonnes de coton pour rester rentables. La combinaison d'un manque d'information disponible sur la capacité d'égrenage du pays et de la

réduction soudaine de la production cotonnière eut pour conséquences un suréquipement ainsi qu'une répartition géographique peu appropriée des usines<sup>1</sup>.

Dès le début des années soixante-dix, la plupart des unités d'égrenage tournaient en deçà de leur capacité par manque de coton-graine à traiter (GRIMBLE, 1971). Certaines d'entre elles, qui ne fonctionnaient pas tous les ans, ont été contraintes de diversifier leurs activités pour faire face au manque de matière première. Aujourd'hui, 28 seulement sont recensées officiellement par le Ministère de l'industrie, mais elles n'ont été que 18 à égrener en 1993.

La faiblesse de la production nationale par rapport à la capacité d'égrenage eut deux conséquences directes pour les agriculteurs. Tout d'abord, comme souligné dans le chapitre précédent, la volonté des égreneurs de maximiser leur volume d'activité les a poussés à augmenter le prix payé aux producteurs. D'autre part, et pour les mêmes raisons, ils ont prêté peu d'attention à la qualité du coton-graine acheté, au profit du volume de production. Les usines ont travaillé sur des marges bénéficiaires si faibles que la qualité de l'égrenage lui-même s'en ressentit<sup>2</sup>. De plus, elles ne purent pas répercuter l'augmentation du prix de la matière première sur l'aval de la filière en raison de la concurrence acharnée que se livraient entre elles les différentes unités d'égrenage, ainsi que de la nécessité de rester compétitives par rapport à la fibre importée.

Finalement, l'écart de prix concédé aux producteurs selon la qualité de la récolte (longueur de la fibre, couleur, propreté, etc.) est si faible qu'ils sont peu encouragés à améliorer celle-ci. En 1993, le prix de la catégorie supérieure était de 11.3 Bahts contre 10.1 B pour du coton-graine de catégorie inférieure<sup>3</sup>, soit environ 10% de différence. Cependant, le plus souvent, la qualité n'est prise en compte au moment de la vente que dans le cas où celle-ci est vraiment faible. En effet, il est difficile d'évaluer objectivement les critères qui permettent de classer différents types de fibres<sup>4</sup> sans utiliser un équipement d'analyse coûteux qui ne serait justifié ni par les finances des égreneurs ni par le volume de production de chaque agriculteur.

---

<sup>1</sup> De nouvelles zones de production s'ouvraient sans cesse sur de nouveaux fronts pionniers, éloignés des unités d'égrenage.

<sup>2</sup> Les coûts de production (entretien des machines, personnel, etc.) ont été réduits au minimum, entraînant la dégradation progressive du parc d'égrenage (SOMCHAY, comm. person.).

<sup>3</sup> Ces prix correspondent aux valeurs officielles communiquées par la *Division of Agricultural Economics*.

<sup>4</sup> Les tentatives de classification au champ selon différents critères de qualité par des représentants des usines d'égrenage ont souvent conduit à des conflits avec les agriculteurs.

#### 4.5.2.1.3 Les stratégies d'approvisionnement des usines d'égrenage

Les quelques unités d'égrenage encore en activité se livrent une concurrence acharnée pour se répartir la faible production nationale. Elles ont développé des stratégies d'approvisionnement qui peuvent être regroupées selon trois catégories, selon la nature des liens établis avec les producteurs (CASTELLA et TREBUIL, 1992).

##### *a) Intégration de la production par le biais de projets régionaux*

L'usine d'égrenage "Yong Suwat", implantée à Nakhon Sawan a mis en place des structures de promotion de la culture cotonnière. Ces "projets intégrés" permettent à la compagnie de contrôler environ 5.600 ha de cotonniers dans le pays. Chaque projet régional est mené par un ou deux agents de l'usine d'égrenage (1 pour 160 ha) dont le rôle est de fournir les crédits de campagne sous forme d'intrants (insecticides, herbicides de contact et engrais azoté principalement), d'assurer l'encadrement technique des agriculteurs (visite régulière des parcelles, conseils personnalisés, etc.) et finalement d'acheter le coton-graine à la récolte. Les intérêts prélevés sur la saison sont compris dans le prix d'achat des intrants et les agriculteurs s'engagent par contrat à livrer l'ensemble de leur production à la compagnie. Un système de caution solidaire entre villageois permet à la compagnie de limiter le pourcentage de mauvais payeurs. Les crédits de campagne non remboursés peuvent être reportés sur les années suivantes en cas de lourdes pertes dues à des accidents climatiques ou attaques parasitaires. Cependant, le responsable de la compagnie affirme que les non-remboursements restent inférieurs à 10% des crédits accordés.

Ce type d'encadrement permet à l'usine de contrôler les volumes de production ainsi que la qualité de la récolte. Le problème lié à cette stratégie d'approvisionnement demeure la charge financière représentée par l'agent d'encadrement, alors que les marges bénéficiaires sont très serrées. Cette compagnie a contourné le problème en diversifiant ses activités dans la production d'insecticides. Le représentant local devient aussi un commerçant. La même personne peut donc avoir des objectifs contradictoires selon qu'elle porte la "casquette" de vulgarisateur ou celle d'agro-fournisseuse. L'expérience montre que dans la plupart des cas les considérations économiques priment...

##### *b) Passage par les intermédiaires de culture au niveau local*

L'usine "Saengtawee" à Nakhon Pathom passe systématiquement par l'intermédiaire des commerçants locaux, auxquels elle accorde des crédits de campagne (de 2 à 3% d'intérêts mensuels en 1991), afin de s'assurer que l'ensemble de la production qu'ils contrôlent lui reviendra à la récolte. La politique d'approvisionnement de l'usine lui permet de prévoir, à chaque campagne, un volume de production à égrener, tout en limitant les investissements liés à l'encadrement des agriculteurs. Cependant, ce réseau traditionnel de commercialisation ne lui permet aucun contrôle sur la qualité de la production, le "taokae" n'assurant qu'un encadrement technique très limité.

*c) Achat de la production au "bord du champ" à la récolte*

L'unité d'égrenage "Bangkok Ginning Mill", située loin de toute zone productrice (près de Bangkok), envoie des acheteurs dans les régions cotonnières en période de récolte. Ils sont constamment en contact avec le directeur de la compagnie par téléphone portable. Ce dernier reçoit quotidiennement une télécopie du "New York Futures Market" l'informant des cours mondiaux. Il est donc en mesure d'adapter ses prix au jour le jour de façon à "rafler" les marchés à ses concurrents. Ces acheteurs peuvent passer par l'intermédiaire des commerçants locaux, qui possèdent une bonne connaissance de l'état de la récolte (volume, qualité) dans les villages à un moment donné, ou s'adresser directement aux producteurs auxquels ils proposent un prix d'achat pour du coton encore sur pied.

L'avantage pour l'usine d'égrenage est évident puisqu'elle réduit tout risque financier en ne prenant pas part au processus de production. Cependant, cette stratégie crée parfois des "frictions" entre compagnies d'égrenages au moment de la récolte, car elles entrent en compétition sur une même zone productrice pour l'achat de la production<sup>1</sup>.

Les trois stratégies décrites ci-dessus témoignent des liens plus ou moins étroits établis par les différents acteurs de la filière avec les exploitations familiales engagées dans la production cotonnière. Cette relation, fondée sur la confiance, le respect ou la dépendance financière, est à la base du processus d'innovation en Thaïlande. Les commerçants locaux (aussi appelés intermédiaires de culture ou « taokae ») détiennent ce pouvoir (SIAMWALLA, 1978). C'est pourquoi les autres acteurs de la filière passent par eux (égreneurs de types b et c) ou cherchent à leur ressembler (type a), pour atteindre les agriculteurs.

#### 4.5.2.2 Les intermédiaires locaux : les « taokaes ».

Ces intermédiaires de culture intègrent traditionnellement l'ensemble des services aux agriculteurs pour les différentes productions agricoles: fourniture d'intrants à crédit, "conseils" techniques, avance de riz en période de "soudure", service de "sécurité sociale", achat de la production au bord du champ, labour à façon, etc. Ils représentent l'élément moteur des dynamiques agricoles. Eux-mêmes étant parfois agriculteurs ils sont parvenus à établir des relations de clientélisme avec les petits producteurs (proximité, respect du statut de notable, relation d'endettement par accumulation d'arriérés non remboursés, etc.), qui leur assurent une main-mise sur les processus de production et de commercialisation. Leur intérêt économique les pousse à favoriser la surconsommation d'intrants de façon à maximiser le rendement. Ils réalisent ainsi un double bénéfice en amont et en aval de la production. Accusés d'abuser des faiblesses et de l'ignorance des agriculteurs pour s'enrichir, de nombreux programmes de développement ont vu le jour, afin de se substituer

---

<sup>1</sup> D'autant plus que toutes les usines d'égrenage fonctionnent actuellement en deçà de leur capacité par manque de matière première.

à eux (RIGG, 1986). Ces projets dits 'intégrés' ont cependant été pénalisés par leur manque de souplesse et leurs lourdeurs administratives (KUSAKABE et HIGUCHI, 1992).

Les commerçants locaux ont conservé, malgré la crise cotonnière, une emprise considérable sur cette filière comme sur presque toutes les productions agricoles dans leur zone géographique d'influence. Certains d'entre eux ont perdu beaucoup d'argent, au moment des grosses attaques parasitaires, lorsque les petits agriculteurs ne pouvaient rembourser leurs dettes<sup>1</sup>. D'autres sont devenus propriétaires des terrains laissés en gage par leurs débiteurs. Ces événements ont attiré la méfiance des producteurs, qui cherchent depuis quelques années à limiter au maximum leur relation de dépendance, notamment par un revenu extérieur à l'exploitation (cf. § 4.3.1.2 : développement de la double activité).

Dans la zone de Kanjanaburi, l'abandon de la culture cotonnière par les producteurs traditionnels a poussé les taokaes à engager des migrants illégaux, originaires de Birmanie, dans cette culture. Ces agriculteurs d'ethnie Môn, illettrés en thaï, se placent sous la protection des intermédiaires de culture pour éviter d'être expulsés par la police. En contrepartie, ils se voient confier un terrain, sur lequel le système de culture relais maïs-coton leur est imposé. Le commerçant leur ouvre un compte en début de saison, et il comptabilise l'achat des intrants et tous les biens de consommation. A la récolte, ces dépenses ainsi que les intérêts du crédit sont prélevées directement par le taokae. Aujourd'hui, la majeure partie du coton est produit de cette façon dans la région (80% des surfaces environ). Mais, ces producteurs sont ignorés des services officiels de vulgarisation du fait de leur statut illégal. Par contre, leur existence est connue des compagnies d'agrochimie, qui vont jusqu'à placarder sur les arbres de la publicité en langue birmane pour les insecticides.

#### 4.5.2.3 Les firmes d'agro-fourriture

Les entreprises nationales ou multinationales d'agro-fourriture interviennent directement auprès des agriculteurs par leurs propres services de vulgarisation, ou par l'intermédiaire de commerçants locaux, qui deviennent dépositaires exclusifs de leur marque. Elles font partie intégrante du paysage familial de l'agriculteur par l'intermédiaire de leurs agents "technico-commerciaux". Ces derniers sillonnent en effet les campagnes offrant des échantillons gratuits aux

---

<sup>1</sup> Les agriculteurs du sous-district de Silathip, dans la province de Lopburi, racontent que 5 « taokaes » ont vendu tout leur équipement aux agriculteurs de la zone en 1984, après qu'une attaque de chenilles associée une épidémie de maladie bleue aient dévasté la presque totalité de la récolte de coton. Ces commerçants ruinés ont quitté la région (où ils avaient perdu leur respectabilité) pour aller tenter leur chance ailleurs. Dans la zone de Saiyok (Kanjanaburi), un ancien intermédiaire de culture maïs-coton s'est converti à la sériciculture en 1986 après une grosse attaque de chenilles, qui lui a fait perdre plus de 2 millions de Bahts.

agriculteurs; des voyages ou des commissions aux "taokae" pour les inciter à commander toute la gamme de produits insecticides qu'ils proposent.

On distingue deux principaux types d'entreprises selon leur statut et leurs stratégies commerciales:

- Les firmes multinationales importent les matières actives insecticides et les reformulent à moindre frais (de main d'oeuvre notamment) en Thaïlande. Mais certains produits arrivent déjà formulés de leur pays d'origine (Allemagne, USA, Suisse, France, Chine, etc.). Ces compagnies ont généralement une réputation internationale à défendre. La qualité des produits, du conditionnement et de l'étiquetage sont irréprochables. Cependant, on note un écart entre le discours tenu au niveau des maisons mères, sur la promotion de la lutte intégrée (l'utilisation rationnelle d'insecticides chimiques), et la réalité du terrain où les technico-commerciaux sont payés au prorata du volume de vente.
- Les sociétés nationales ont bien du mal à rester compétitives face à la concurrence étrangère, alors qu'elles se fournissent en matière active à la même source. La qualité des produits, reformulés et conditionnés par leurs petites industries, s'en ressent. Des mesures réalisées en 1984 par un laboratoire du Département de l'agriculture ont montré que ces formulations insecticides sont souvent sous-dosées. Les concentrations relevées couvraient la gamme de 4, 20, 25, 56 et 60% de matière active, pour un même produit annoncé à 60% sur l'étiquette<sup>1</sup>. De plus, la qualité des solvants utilisés, non contrôlée, est parfois douteuse. L'étiquetage n'est souvent pas conforme aux normes internationales<sup>2</sup>. Ces compagnies compensent la faible qualité de leurs produits (qui leur permet de conserver une marge bénéficiaire confortable) par des campagnes de marketing agressives jusque dans les villages les plus reculés.

Les agriculteurs sont alors désorientés par une **prolifération des marques commerciales** correspondant à une même matière active. Pas moins de 10 marques différentes ont été dénombrées pour le monocrotophos dans le district de Saiyok, province de Kanjanaburi en 1992 et plus de 150 formulations commerciales existent en Thaïlande pour cette unique molécule, qui devrait bientôt être interdite en raison de sa forte toxicité (Tableau 4.5). On assiste à un foisonnement anarchique de produits phytosanitaires<sup>3</sup>, engrais foliaires et hormones dont l'efficacité n'a pas toujours été démontrée. Les compagnies d'agrochimie se transforment, dans bien des cas, en

---

<sup>1</sup> Aucune sanction n'a été prise contre les compagnies peu scrupuleuses. L'enquête auprès des chercheurs du DOA a montré que les enjeux économiques sont tels, que la publication officielle des résultats leur aurait fait risquer pour leur vie...

<sup>2</sup> Nous avons relevé, au cours des enquêtes, de nombreuses étiquettes ne portant pas mention de la matière active. Par ailleurs, des produits sont annoncés actifs contre une large gamme d'insectes de façon mensongère.

<sup>3</sup> 3000 marques différentes pour environ 150 formulations, une situation unique en Asie (GASTON, 1989)!

**Tableau 4.5.** Nombre de marques commerciales d'insecticides pour quelques matières actives en Thaïlande et dans des pays voisins.

Matière active	Thaïlande	Malaisie	Philippines
Cyperméthrine	> 120	14	4
Parathion	> 250	-	11
Carbofuran	40	14	6
Méthamidophos	75	23	3
Monocrotophos	> 250	12	7

Source : ARSAP/CIRAD (1988). Regional agro-pesticide index in Asia and the Pacific, ESCAP, Bangkok.

**Tableau 4.6.** Prix des insecticides en 1988, classés selon leur niveau de toxicité par l'Organisation Mondiale pour la Santé.

Classification OMS	Prix commercial		Prix d'importation	
	Baht/kg, Baht/l	Baht/kg matière active	Baht/kg	Baht/kg matière active
Bacillus thuringiensis	400	-	232	-
Non dangereux	1740	6960	687	2751
Faiblement dangereux	192	210	94	105
Modérément dangereux	497	4057	261	2278
Fortement dangereux	284	783	163	438
Extrêmement dangereux	150	839	74	377

Note: Bacillus thuringiensis n'entre pas dans la classification de l'OMS.

Source : Agricultural regulatory division, Department of agriculture (1988). Pesticide statistics : importation, formulation, supply and use. (adapté de WAIBEL, 1990)

vulgarisateurs peu scrupuleux dont l'unique objectif est de maximiser les ventes (CHANTEAU, 1993).

Cette situation a été favorisée par la politique agricole de l'Etat, qui a cherché à soutenir l'effort d'intensification de l'agriculture dans les années 80 (WAIBEL, 1990). Alors que la presque totalité des matières actives sont importées<sup>1</sup>, la **taxe douanière** minimale de 5% (comparée à 30% pour un engrais tels que l'urée) agit comme une subvention au développement du marché des insecticides.

La comparaison du **prix** commercial et du prix d'importation des produits phytosanitaires montre que les matières actives les plus dangereuses sont généralement moins chères (Tableau 4.6). Le prix à l'importation des matières actives extrêmement dangereuses est relativement faible. Ces produits interdits dans les pays industrialisés restent disponibles sur le marché mondial à moindre coût. Les différences de prix entre pesticides sur le marché à l'importation sont accentuées, par la politique fiscale du gouvernement, sur le marché intérieur. Par ailleurs, il est à noter que le prix des insecticides 'faiblement dangereux' est peu représentatif, car ils ne représentent qu'une très faible part du marché (inférieure à 3% de la quantité totale d'insecticides). De plus, il semble que le prix du Bt (*Bacillus thuringiensis*) soit sous estimé par les statistiques officielles. Les prix relevés au cours de nos enquêtes sont plus élevés, et de toute façon, ce produit n'est pas disponible à l'heure actuelle pour les agriculteurs des zones cotonnières<sup>2</sup>.

**La réglementation** de l'importation et de la distribution des pesticides : le *Poison Act* de 1967 (amendé en 1973) n'a pas empêché la multiplication des marques commerciales et des produits de qualité douteuse (NAPOMPETH, 1981). Ces facteurs contribuent à la surconsommation d'insecticides, aggravent les risques de toxicité pour les utilisateurs et, à terme, hypothèquent l'avenir de l'industrie agrochimique thaï.

Face au 'laxisme' de l'Etat pour faire respecter les réglementations, on assiste à une mobilisation croissante des compagnies multinationales (ASSOULINE, 1988). Cette démarche relève de deux préoccupations : contraindre les formulateurs locaux à se soumettre aux critères de qualité imposés par la législation (ce qui leur permettrait de gagner quelques parts de marché), et éviter la croissance des phénomènes de résistance, ainsi que la présence alarmante de résidus dans les produits destinés à l'exportation (DAVID et GARIN, 1987).

---

<sup>1</sup> Seul le paraquat, molécule herbicide, est fabriqué en Thaïlande.

<sup>2</sup> La concurrence à laquelle se livrent les compagnies d'agrochimie sur le terrain tourne souvent à l'avantage des plus petites sociétés, qui ne proposent que des produits banalisés (entrés dans le domaine public) moins chers mais beaucoup plus toxiques que ceux des firmes multinationales.

Finalement, le développement des agro-industries (fabrication et distribution d'intrants et de matériel agricole, égrenage, etc.) s'est largement appuyé sur la présence d'une bourgeoisie commerçante très dynamique, principal agent de la croissance agricole. Les intermédiaires chinois ou sino-thaïs ont repris à leur profit, de façon informelle, les rapports de clientélisme traditionnels de la société thaï. Ils vivent en milieu rural, au contact des paysans, à qui ils avancent la plupart des intrants en échange d'une priorité sur l'achat de la récolte. Ils constituent une forme d'encadrement agricole particulièrement efficace, même s'ils détournent à leur profit une part importante des revenus de la terre. Ce sont eux qui ont introduit les innovations majeures (nouvelles cultures, variétés, labour mécanisé, etc.) en procurant un crédit cher mais immédiat et sans formalités. Ils entretiennent des relations avec tous les acteurs de la filière (les banques commerciales, les industries d'amont et d'aval, les autres commerçants de la région ou de Bangkok, les services officiels de recherche et de vulgarisation, etc.) et jouent le rôle d'interface avec les agriculteurs (Figure 4.10).

### 4.5.3 Attitude des agriculteurs face au risque phytosanitaire

Aujourd'hui, pour la plupart des agriculteurs des zones enquêtées, le mot 'coton' est synonyme de 'risque'.

- Risque économique en premier lieu, car si le gain potentiel associé à cette production est inégalé par les autres cultures pluviales, l'incertitude est considérable.
- Risque d'intoxication par les pulvérisation répétées d'insecticides et les mauvaises manipulations.

Nous avons cherché à identifier les stratégies des agriculteurs confrontés au risque phytosanitaire, à partir d'enquêtes rétrospectives réalisées dans les deux zones d'étude. Nous avons ensuite vérifié les conséquences de ces pratiques individuelles à l'échelle régionale.

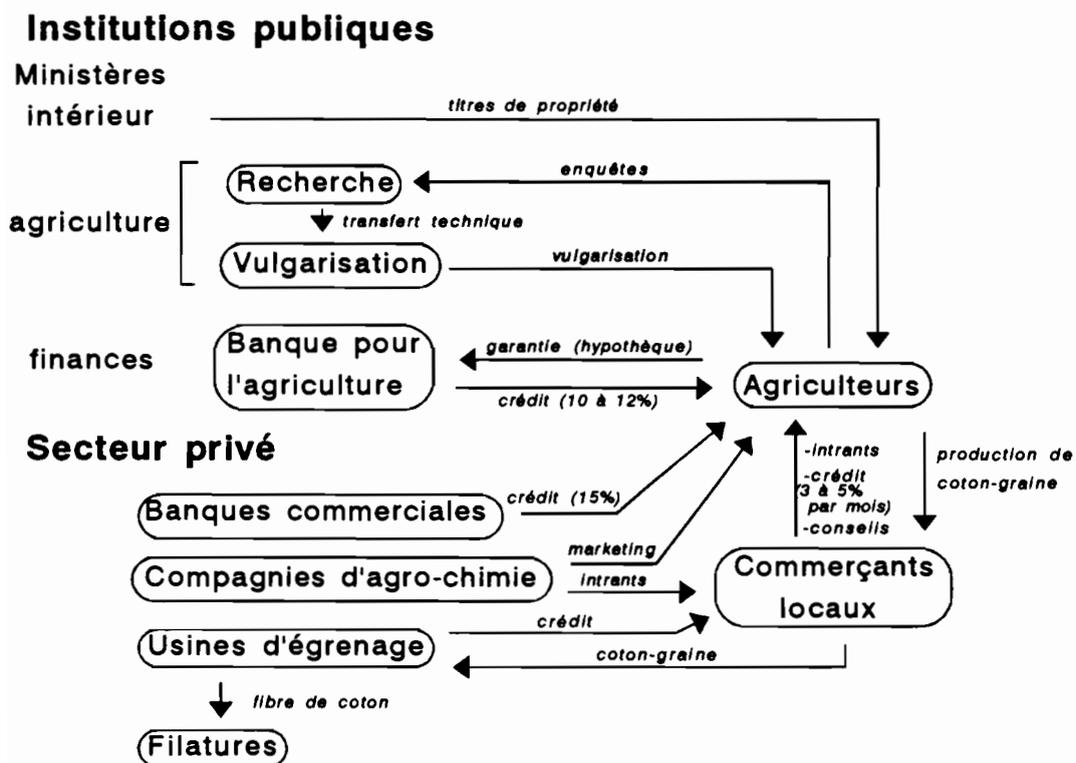
#### 4.5.3.1 Le processus d'adoption-rejet des innovations

La perception du risque par les agriculteurs détermine dans une large mesure l'adoption ou le rejet des recommandations techniques (KENMORE *et al.*, 1987).

- *Les cycles d'adoption - rejet de nouvelles cultures*

On observe dans la province de Lopburi des cycles d'adoption/rejet des nouvelles productions. Depuis les années 80, elles sont souvent lancées par les

**Figure 4.10.** Schéma relationnel entre les différents acteurs de la filière cotonnière en Thaïlande.



commerçants locaux en association avec des 'projets intégrés' de vulgarisation. Le processus d'adoption d'une culture demande deux ou trois ans. La première année des agriculteurs volontaires (généralement des leaders villageois) mettent en place des parcelles de démonstration. L'année suivante, si les résultats ont été convainquants, les voisins tentent d'introduire cette innovation sur une petite partie de leur assolement. Enfin la troisième année, les surfaces sont augmentées de façon considérables (certains agriculteurs n'hésitent pas à implanter cette nouvelle culture sur l'ensemble de leurs terrains). Mais si un problème survient, c'est le rejet.

Ce fut le cas, notamment pour le soja, avec un ouragan qui a détruit toute la récolte en 1990. L'année suivante tout le monde abandonnait cette production. La brutalité de l'arrêt est à la mesure de l'enthousiasme montré en pour l'extension des zones de production. Le processus de vulgarisation a repris plus tard, en 1993, à plus grande échelle. Les agents de développement fournissent de la semence (principal poste de dépense pour le soja) à des prix subventionnés. De plus, la mécanisation (du semis et des traitements insecticides) a permis aux grandes exploitations de se lancer dans cette culture. Ces dernières jouent généralement un rôle moteur sur les dynamiques de production à l'échelle locale.

L'itinéraire technique non mécanisé et la forte demande en main d'oeuvre constituent des obstacles à l'adoption de cultures telles que le cotonnier ou le haricot mungo par les gros producteurs. Et si les personnes influentes ne sont pas intéressées directement par une production, celle-ci est souvent délaissée par l'ensembles des acteurs régionaux (recherche, vulgarisation, commerçants, etc.)<sup>1</sup>.

- *Les tentatives d'innovation*

Ces contraintes n'empêchent pas les petits agriculteurs de tenter des expériences, mais ils le font discrètement sur une petite partie de leur terrain. En effet, un échec prète moins à conséquences, socialement parlant, lorsque les techniques employées sont celles couramment pratiquées dans le villages (même si elles sont contraires à celles vulgarisées). La confrontation du groupe à une même situation dramatique ne fait que rajouter à la cohésion sociale. Par contre, celui qui échoue alors qu'il s'était éloigné de la 'norme' est sanctionné.

- *L'adoption sous contrainte*

Dans la zone de Kanjanaburi, la plupart des innovations en culture cotonnière touchent d'abord les Môm. Le « taokae » leur impose régulièrement de tester

---

<sup>1</sup> Au cours des enquêtes, les responsables régionaux nous ont souvent demandé pourquoi nous nous intéressions à la culture cotonnière, qui selon eux, n'avait aucun avenir puisque que agriculteurs les plus dynamiques s'en étaient détournés. L'effort de recherche et de vulgarisation s'était reporté sur le maïs, soja, canne à sucre et sorgho.

une nouvelle variété, un traitement de semences, etc. sur de petites surfaces. S'ils en redemandent l'année suivante, le commerçant peut proposer cette technique à toute sa clientèle. Le risque d'échec lié à l'introduction des innovations est reporté sur les 'dépendants économiques'.

Mais l'adoption d'une innovation n'élimine pas pour autant le risque d'échec. Dans le cas du cotonnier, ce risque est géré de différentes manières.

#### 4.5.3.2 Le risque économique

Face au risque financier, plusieurs stratégies ont été mises en oeuvre. Elles sont présentées ci-dessous dans l'ordre de préférence des agriculteurs.

- *Déplacer la production vers des zones où le risque est moindre.*

Ce fut le cas avant la fermeture des fronts pionniers dans les années 80. Lorsque la contrainte parasitaire devenait trop pressante, des familles entières allaient coloniser de nouvelles zones forestières (Figure 4.11). Mais le problème était posé à nouveau quelques années plus tard.

- *Abandonner les cultures à forte consommation de pesticides.*

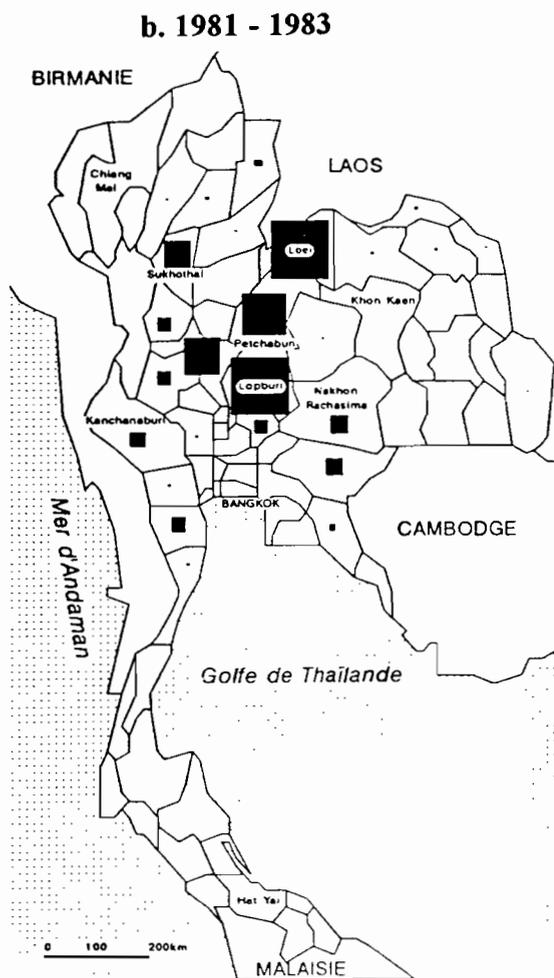
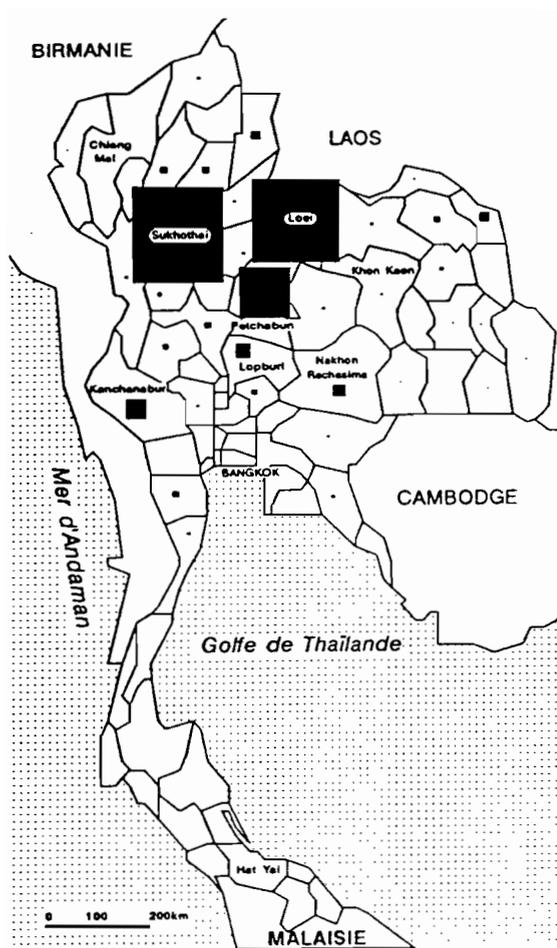
Des variétés améliorées de maïs et le sorgho, puis, plus récemment des variétés hybrides (plus résistantes à la sécheresse) ont été proposées par des sociétés privées. Mais le faible revenu qu'elles autorisent par unité de surface, associé à la réduction progressive de la taille des exploitations à chaque génération<sup>1</sup> a limité leur adoption par les petits producteurs. Ces dernières années, l'apparition de grosses exploitations dans la zone de Lopburi a permis la diffusion de nouvelles 'cultures extensives' telles que la canne à sucre et le manioc (Figure 4.12).

Ces pratiques contribuent à rétablir les équilibres écologiques modifiés par l'utilisation abusive d'insecticides<sup>2</sup>, pourvu qu'elles soient développées à grande échelle.

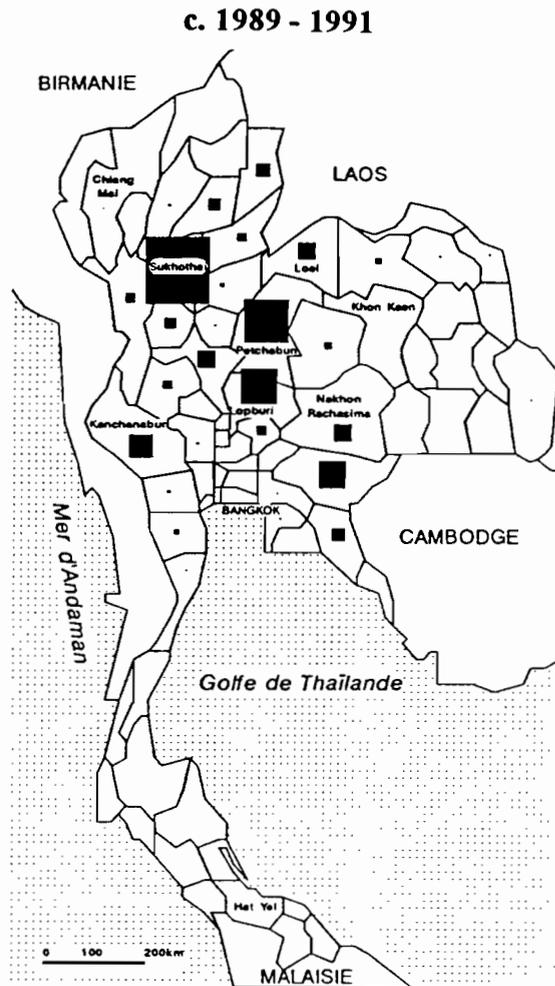
---

<sup>1</sup> Les terres sont généralement partagées équitablement entre les enfants.

<sup>2</sup> La province de Nakhon Rachasima, où se trouve la station de recherche du projet DORAS, est une ancienne zone cotonnière. Cette culture a progressivement disparu au début des années 80 en raison des problèmes de résistance des insectes. La région a fait l'objet de programmes de replantation forestière ainsi que d'une diversification agricole très rapide (pâturages pour l'élevage bovin, arboriculture, cultures extensives de maïs, canne à sucre, etc.). Les travaux menés dans la même zone à partir de 1992 ont montré que les niveaux de résistance avaient nettement diminué. Ils sont actuellement bien inférieurs à ceux des régions cotonnières de Kanjanaburi et Lopburi (GENAY, 1994).

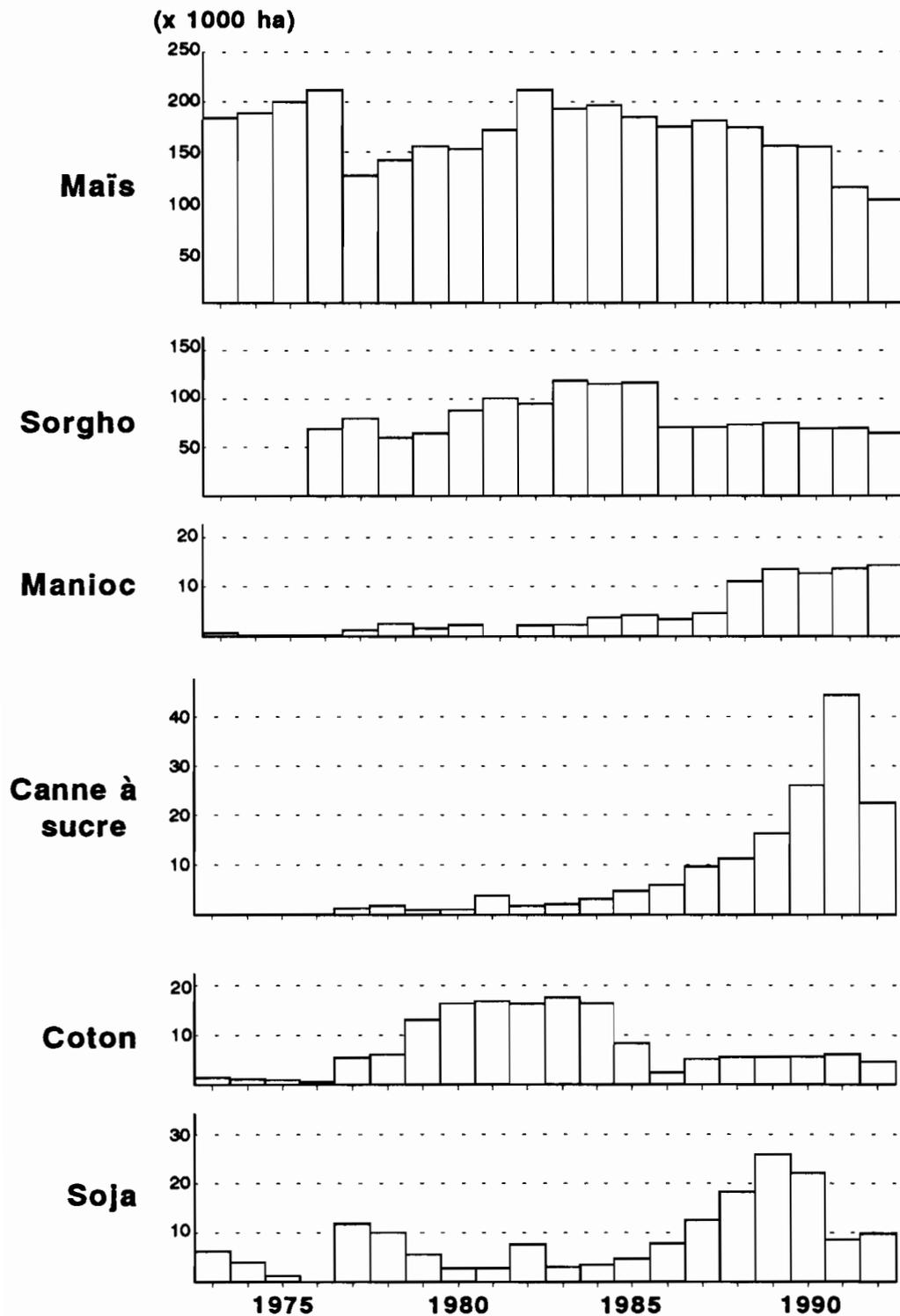


**Figure 4.11.** Répartition régionale des zones de production cotonnière. La taille des carrés est proportionnelle à la contribution de chaque province à la production nationale de coton-graine. La moyenne du pourcentage de production de chaque province a été réalisée sur trois années successives à trois périodes (a) 1973-1975, (b) 1981-1983 et (c) 1989-1991.



Source: *Division of agricultural economics*, Ministère de l'agriculture et des coopératives de Thaïlande.

**Figure 4.12.** Evolution des surfaces cultivées des principales productions végétales pratiquées dans la province de Lopburi (en zones pluviales).



- *Introduire d'autres cultures intensives*

Ce fut le cas du haricot mungo, du soja, proposés aux petites exploitations comme alternative à la culture cotonnière (cf. paragraphe précédent). Mais leur production consomme, elle aussi, de plus en plus d'insecticides.

- *Réduire les liens de dépendance avec les intermédiaires de culture afin de limiter les conséquences d'une mauvaise récolte.*

Les expériences passées de surendettement à des taux usuraires, auprès des « taokaes », ont incité les agriculteurs à trouver d'autres sources de financement. Beaucoup ont recours à des « caisses de crédit » villageoises, système informel de prêts entre voisins (intérêt de 2% par mois). La pression sociale est la seule garantie de remboursement, mais elle est redoutablement efficace. Les plus démunis cherchent dans une autre activité les sommes nécessaires pour financer la production. La double activité s'est largement répandue. L'agriculteur ou/et ses enfants travaillent hors de l'exploitation soit dans la région même (comme journalier agricole ou dans les industries délocalisées à la campagne ces dernières années) soit à Bangkok (dans des emplois précaires, qui permettent de revenir à la saison des pluies).

Finalement, il semble que tout ait été tenté pour éviter de modifier les pratiques de pulvérisation insecticide, alors que cette solution apparaît comme une évidence pour le chercheur. Les raisons invoquées par les agriculteurs sont généralement '*qu'ils ont déjà essayé, mais que cela ne marche pas*'.

L'avis des producteurs sur les recommandations techniques est qu'elles sont : (a) inefficaces, (b) peu aisées, (c) trop chères par rapport au bénéfice attendu de la culture cotonnière (d) non disponibles. Ces quatre points sont généralement avancés pour les techniques de contrôle biologique qui ont été testés en parcelles de démonstration (bactéries et virus dirigés contre les ravageurs, lâchers inondatifs d'insectes auxiliaires, utilisation de phéromones pour capturer les mâles de lépidoptères ou perturber la reproduction, etc.) (LOISON, 1993).

Pour l'instant, le moyen incontournable de maîtriser rapidement et à moindre coût une attaque de ravageur, reste les insecticides (TÜTTINGHOFF, 1991). Les agriculteurs sont donc amenés à gérer le risque lié à leur utilisation.

#### 4.5.3.3 Le risque d'intoxication lié à l'utilisation d'insecticides

Différents travaux de recherche ont été menés en Thaïlande sur ce thème (WONGPHANICH *et al.*, 1985; BOON-LONG *et al.*, 1986; KAMLANG-EK, 1990; SINHASANI *et al.*, 1993). Cependant, il est très difficile d'évaluer avec précision le risque réel d'intoxication, ceci pour deux raisons principales :

- Les statistiques disponibles ne concernent que les personnes qui se sont rendues à l'hôpital ou dans un dispensaire, mais les gens les plus démunis ont plutôt recours aux médecines traditionnelles.
- Il est souvent difficile de diagnostiquer les effets d'une intoxication par des pesticides dans le cas de malaises légers. Les troubles qu'ils provoquent peuvent être attribués à d'autres causes. Par ailleurs, leur action est souvent cumulative et les symptômes peuvent apparaître de manière différée (notamment sous forme de cancers).

La Figure 4.13 rapporte les cas d'intoxication accidentelle par les insecticides dans les provinces de Lopburi et Kanjanaburi, comparés à la moyenne nationale. On remarque que Lopburi présente un nombre de cas bien supérieur aux autres courbes, notamment en 1984 et 1987. Il est intéressant de noter que ces années correspondent à de fortes attaques d'insectes sur cotonnier. De même, le nombre de cas d'intoxication est maximal à Kanjanaburi en 1986, années où les chenilles d'*H. armigera* ont détruit plus de 50% des surfaces cotonnières dans la zone. La différence entre les deux régions peut s'expliquer par le fait que le coton est essentiellement produit par des migrants birmans à Kanjanaburi. En situation illégale, ils n'ont pas accès aux services de santé officiels gratuits. S'ils sont soignés par un médecin (cas rares car ils très pauvres), il ne sont pas répertoriés<sup>1</sup>. Dans les villages on raconte plusieurs cas d'intoxication et de décès les années à fortes attaques de chenilles. De nombreux agriculteurs ont géré ce risque en abandonnant purement et simplement la culture cotonnière.

Mais il existe aussi d'autres stratégies :

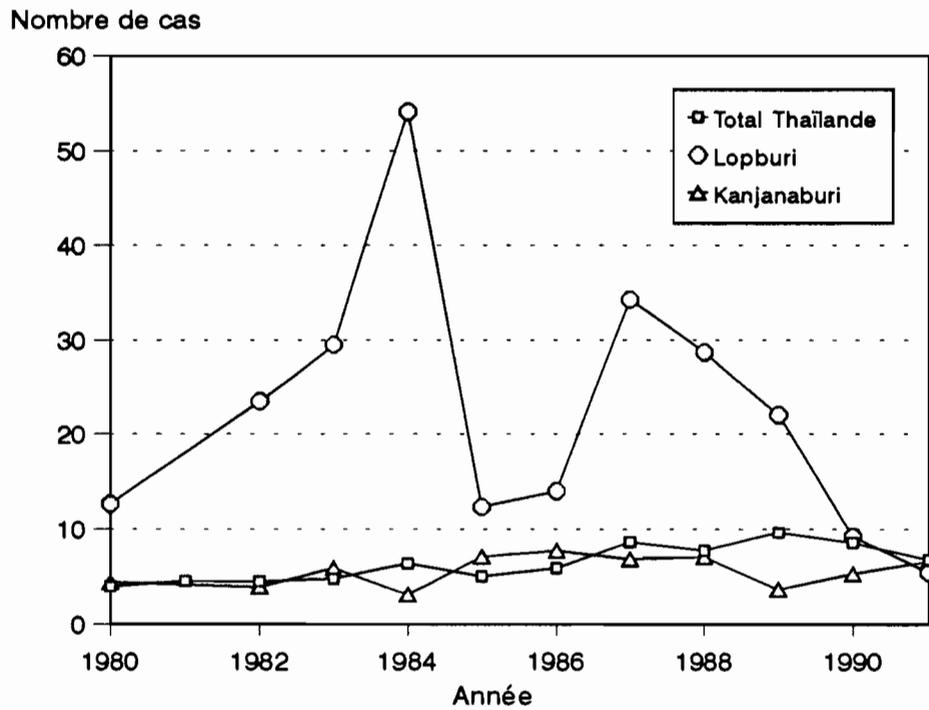
- *La protection par un équipement approprié*

La première idée du chercheur serait de se protéger contre les projections d'insecticide au moment de l'application... mais ça n'est pas celle de la plupart des agriculteurs. On constate en effet que les personnes qui traitent se protègent très mal : ils marchent pieds nus dans la parcelle (pour éviter la boue qui se colle aux chaussures), ils ont souvent les bras et les jambes découverts, et ne portent pas de masque. La seule raison invoquée est que ces protections augmentent la pénibilité du travail (EKACHAI, 1990). Elles obligerait à limiter la surface cultivée ou à diminuer la fréquence de pulvérisation, conduisant forcément à une réduction de la production<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Nous avons eu l'occasion d'enquêter des agriculteurs Mòns, producteurs de coton, qui après avoir pulvérisé leurs parcelles toute la journée, achètent du sérum physiologique à la pharmacie du village et se le perfuse eux même. C'est le type de traitement préconisé contre les intoxications par les pesticides. Ils l'emploient de façon routinière en cas de malaise.

<sup>2</sup> Le journal '*Bangkok Post*' rapporte que certains agriculteurs vont jusqu'à des pratiques suicidaires, telles que pulvériser contre le vent, pour augmenter leur productivité (cité par WIEBERS, 1993)

**Figure 4.13.** Evolution des cas d'intoxications accidentelles par les insecticides dans les provinces de Kanjanaburi et Lopburi ainsi que pour l'ensemble de la Thaïlande (1980-1990).



Sources : Rapports de surveillance épidémiologique 1981 à 1992, Ministère de la Santé, Thaïlande.

- *Reporter le risque sur d'autres personnes*

L'autre façon de limiter le risque pour l'agriculteur est de le transférer sur une autre personne.

A Lopburi, la main d'oeuvre salariée est payée plus cher pour ce genre d'opérations culturales (100 à 120 Bahts pour une journée de pulvérisation insecticide contre 60 Baht pour les autres opérations). Il s'agit d'une forme de dédommagement pour le risque encouru. Mais cette pratique est relativement peu répandue car (a) elle augmente considérablement les coûts de production, (b) il est souvent difficile de trouver une personne disponible au moment précis où une pulvérisation est requise, (c) enfin les agriculteurs se plaignent de la qualité du travail réalisé par la main d'oeuvre salariée.

A Kanjanaburi, cette dernière contrainte a été résolue en transférant l'ensemble du processus de production sur les agriculteurs Mòns. Les taokaes louent des terres à des propriétaires absentéistes, qu'ils sous-louent à leurs 'protégés'. Ils en retirent de nombreux bénéfices économiques sans courir de risque, ni financier, ni pour leur santé. Les autres agriculteurs laissent souvent leurs jeunes plantations d'arbres fruitiers aux agriculteurs Mòns afin qu'ils y pratiquent leur système maïs-coton en interculture. En contrepartie, le 'locataire' entretient le verger pour son propriétaire (TREBUIL *et al.*, 1994).

Finalement, l'attitude des agriculteurs confrontés au risque phytosanitaire peut être résumée par la 'fuite'. Ce mot pourrait donner l'impression qu'ils n'ont pas cherché à affronter les problèmes techniques ou qu'ils sont réfractaires au changement. Mais il n'en est rien. Ils sont toujours prêts à adopter une innovation, pourvu qu'elle corresponde à leurs attentes. La rapidité et l'ampleur des dynamiques agraires observées ces vingt dernières années témoignent de la grande faculté d'adaptation des agriculteurs à un environnement changeant.

## 4.6 CONCLUSION

**S'il existe aujourd'hui une solution au problème parasitaire, elle ne sera pas uniquement de nature technique.**

Cette conclusion s'impose à l'issu de l'analyse régionale de la contrainte phytosanitaire. Mais pour aller plus loin dans la formulation d'hypothèses et de propositions, il convient de revenir à l'évolution historique des systèmes cotonniers. Le diagnostic sur la situation actuelle s'enrichit des enseignements du passé; d'abord pour éviter les erreurs déjà commises mais aussi pour identifier les processus (écologiques, techniques, sociaux, économiques, etc.) qui permettront de sortir de l'impasse de la protection phytosanitaire.

### *4.6.1 L'émergence du problème phytosanitaire*

Les déséquilibres écologiques actuels sont la conséquence de trois phénomènes complémentaires :

- La perturbation de l'écosystème forestier a modifié la composition de l'entomofaune.
- Une tendance à l'uniformisation des agroécosystèmes par la présence d'un nombre limité d'espèces cultivées sur de larges superficies. Ce phénomène a favorisé certains insectes pour lesquels ces plantes étaient source d'alimentation. Le déséquilibre entre les populations de ravageurs et celles de leurs prédateurs a entraîné des pullulations des premiers.
- Enfin, l'utilisation d'insecticides, destinés à réduire le nombre des ravageurs, a éliminé leurs prédateurs par la même occasion. Les résultats spectaculaires masquaient un nouveau déséquilibre au sein de l'entomofaune. Des doses et des fréquences de pulvérisation toujours supérieures étaient nécessaires pour venir à bout de populations d'insectes, qui n'étaient plus régulées ni par des disponibilités alimentaires ni par leurs prédateurs naturels. Finalement, ces pratiques ont contribué à sélectionner les quelques individus résistants aux insecticides, dont la proportion augmentait dans les populations de ravageurs. Les insecticides perdaient leur efficacité.

#### **4.6.2 Les réponses des agriculteurs aux transformations du milieu écologique**

Face à l'artificialisation progressive du milieu et à l'émergence de contraintes auxquelles ils n'étaient pas préparés, les agriculteurs ont développé différentes stratégies :

**Déplacement des zones de production sur de nouveaux fronts pionniers où les équilibres écologiques sont encore peu perturbés.**

Cette pratique est possible aussi longtemps que l'espace n'est pas limitant. Mais la fermeture de tous les fronts pionniers par manque de terrains favorables et par décision politique interdit dorénavant de telles pratiques (que l'on trouve encore au Laos et au Vietnam).

**Production cotonnière traditionnelle à partir de variétés rustiques, faibles consommatrices d'intrants.**

Mais ces variétés sont peu productives et les critères de qualité imposés par l'aval de la filière ne les favorisent pas. Elles sont devenues marginales dans les zones agricoles de la périphérie de la Plaine Centrale (mais sont encore cultivées dans les zones de montagne du Nord-Thaïlande, Laos). Par contre, certains caractères naturels de tolérance de ces variétés aux insectes ravageurs sont susceptibles d'être introduits dans des programmes de sélection variétale.

**Report dans le temps de la culture cotonnière lorsque la contrainte parasitaire est trop importante.**

Des cultures sans insecticides (maïs, sorgho, etc.) alternent avec le cotonnier selon un cycle de plusieurs années de façon à rétablir progressivement des équilibres écologiques acceptables. Mais l'intensification de l'agriculture et l'essor actuel du soja (aussi fort consommateur d'insecticides) changent les données du problème.

**Introduction d'une innovation technique majeure**

L'apparition des insecticides du groupe des pyréthrinoïdes, à la fin des années 70, a entraîné un très grand nombre de producteurs dans la production cotonnière, même les moins expérimentés. Finalement, en quelques années, le succès de cette culture a causé sa perte, en conduisant les agriculteurs dans l'engrenage de la surconsommation d'insecticides.

Aujourd'hui, d'autres innovations techniques de ce type sont à l'essai. Mais pour éviter les erreurs du passé, elles requièrent une maîtrise technique toujours supérieure. Parmi elles, on peut citer les variétés résistantes à *Helicoverpa*, transformées par les techniques de la biotechnologie en introduisant des gènes de *Bacillus thuringiensis* (Bt). Mais leur introduction en Thaïlande dans le contexte actuel conduirait inévitablement à développer des phénomènes de résistance des ravageurs en trois ou quatre ans. D'ailleurs, des cas de résistance au Bt ont déjà été reportés dans plusieurs pays du monde (RAJNCHAPEL-MESSAI, 1993).

Outre les méthode de contrôle biologique des populations de ravageurs, existent des techniques de nature agronomique. Il s'agit, par exemple, du groupage des dates de semis pour réduire la période de présence du cotonnier dans l'agro-écosystème (afin de limiter le nombre de générations d'insectes), de la destruction des plants et du labour de la parcelle en fin de saison (afin de détruire les 'formes dormantes' des insectes ravageurs). Une gestion rationnelle des insecticides chimiques peut aussi être envisagée dans le cadre de la lutte intégrée.

Ces différentes méthodes ont été testées avec succès (selon les critères de jugement des chercheurs, pas ceux des agriculteurs). Mais toutes les tentatives de vulgarisation ont échoué. La raison principale réside dans le manque de coordination entre les acteurs régionaux, qui ne sont pas parvenus à faire passer ces pratiques de l'échelle de la parcelle à celle de l'agro-écosystème (Chapitre 3). Traiter des cotonniers sur seuil d'intervention n'a aucun sens si le voisin pulvérise de fortes doses d'insecticides tous les trois jours. Quelles que soient les stratégies de la lutte intégrée, elles trouvent leur efficacité dans une gestion collective.

Mais l'étude des relations entre les acteurs de la filière montre au contraire que les dynamiques de transformation de l'agriculture sont associées à des stratégies individuelles, souvent contradictoires. Ce manque de cohésion, de concertation, est certainement la cause profonde de la crise cotonnière en Thaïlande. Les problèmes de maîtrise technique de la contrainte parasitaire ne sont que les symptômes d'un malaise de plus grande envergure.

# **Approche expérimentale à l'échelle de la parcelle :**

Analyse de l'efficacité de la  
protection phytosanitaire  
contre les ravageurs et leurs  
dégâts

# 5

<b>5. APPROCHE EXPERIMENTALE A L'ECHELLE DE LA PARCELLE :</b>	<b>116</b>
ANALYSE DE L'EFFICACITE DE LA PROTECTION PHYTOSANITAIRE CONTRE LES RAVAGEURS ET LEURS DEGATS	
<b>5.1 Introduction</b>	<b>116</b>
<b>5.2 Méthode</b>	<b>116</b>
5.2.1 Le dispositif expérimental	118
5.2.2 Les programmes de pulvérisation insecticide	118
5.2.3 Les dates de semis	119
5.2.4 Les données collectées	119
5.2.5 Transformation des données	121
<b>5.3 Le complexe parasitaire du cotonnier</b>	<b>122</b>
5.3.1 Variabilité saisonnière des niveaux de pression parasitaire	122
5.3.2 Variabilité des pertes de récolte selon les niveaux de protection phytosanitaire	124
5.3.3 Le complexe parasitaire : un système en interaction	129
<b>5.4 Analyse des interactions plante - ravageurs sur le rendement</b>	<b>133</b>
5.4.1 Méthode	133
5.4.2 Variables expliquées : mise au point d'un indice de dommage	134
5.4.3 Analyse de l'effet des contraintes parasitaires sur le dommage	136
5.4.4 Discussion	147
5.4.5 Conclusion	149
<b>5.5 Efficacité de la protection insecticide sur l'entomofaune et les dégâts</b>	<b>150</b>
5.5.1 Introduction	150
5.5.2 Méthode d'analyse des données	152
5.5.3 Résultats	154
5.5.3.1 <i>Les profils parasitaires</i>	154
5.5.3.2 <i>Les tableaux de contingence</i>	154
5.5.3.3 <i>L'analyse factorielle des correspondances multiples</i>	156
5.5.4 Discussion	160
<b>5.6 Conclusion</b>	<b>162</b>

## 5. APPROCHE EXPERIMENTALE A L'ECHELLE DE LA PARCELLE

### ANALYSE DE L'EFFICACITE DE LA PROTECTION PHYTOSANITAIRE CONTRE LES RAVAGEURS ET LEURS DEGATS

---

#### 5.1 INTRODUCTION

Le problème de la résistance des insectes ravageurs aux produits phytosanitaires, abordé dans le chapitre 1 à l'échelle régionale, a des répercussions sur les techniques de lutte chimique employées par les agriculteurs (DEEMA *et al.*, 1974; COLLINS, 1986). Confrontés à une diminution tendancielle de l'efficacité des traitements insecticides, la tentation est grande pour ces derniers d'augmenter la dose et/ou la fréquence des pulvérisations afin d'obtenir le résultat escompté (JAN-ORN, 1989).

La question du bien-fondé des pratiques actuelles de protection de la culture est donc posée. Sont-elles justifiées par la présence effective de ravageurs non maîtrisés par des doses raisonnables d'insecticides, ou correspondent-elles, pour les agriculteurs, à une perception déformée du risque réel de dégâts? En d'autres termes, il s'agit de vérifier si l'utilisation massive d'insecticides s'explique par leur relative inefficacité à contrôler les ravageurs.

Nous avons abordé cette question sous trois angles complémentaires.

- Le premier consiste à **caractériser les populations d'insectes ravageurs** soumises à différents niveaux de protection phytosanitaire, leur **variabilité spatiale et temporelle** ainsi que les **pertes de récoltes** qui leur sont imputables.
- Dans un second temps, il est essentiel de comprendre le **processus aboutissant au dommage d'origine parasitaire** parallèlement à l'élaboration du rendement.
- Il est enfin possible d'évaluer **l'efficacité de la protection phytosanitaire** et ses effets sur les pertes de récolte, dans le contexte de production thaïlandais.

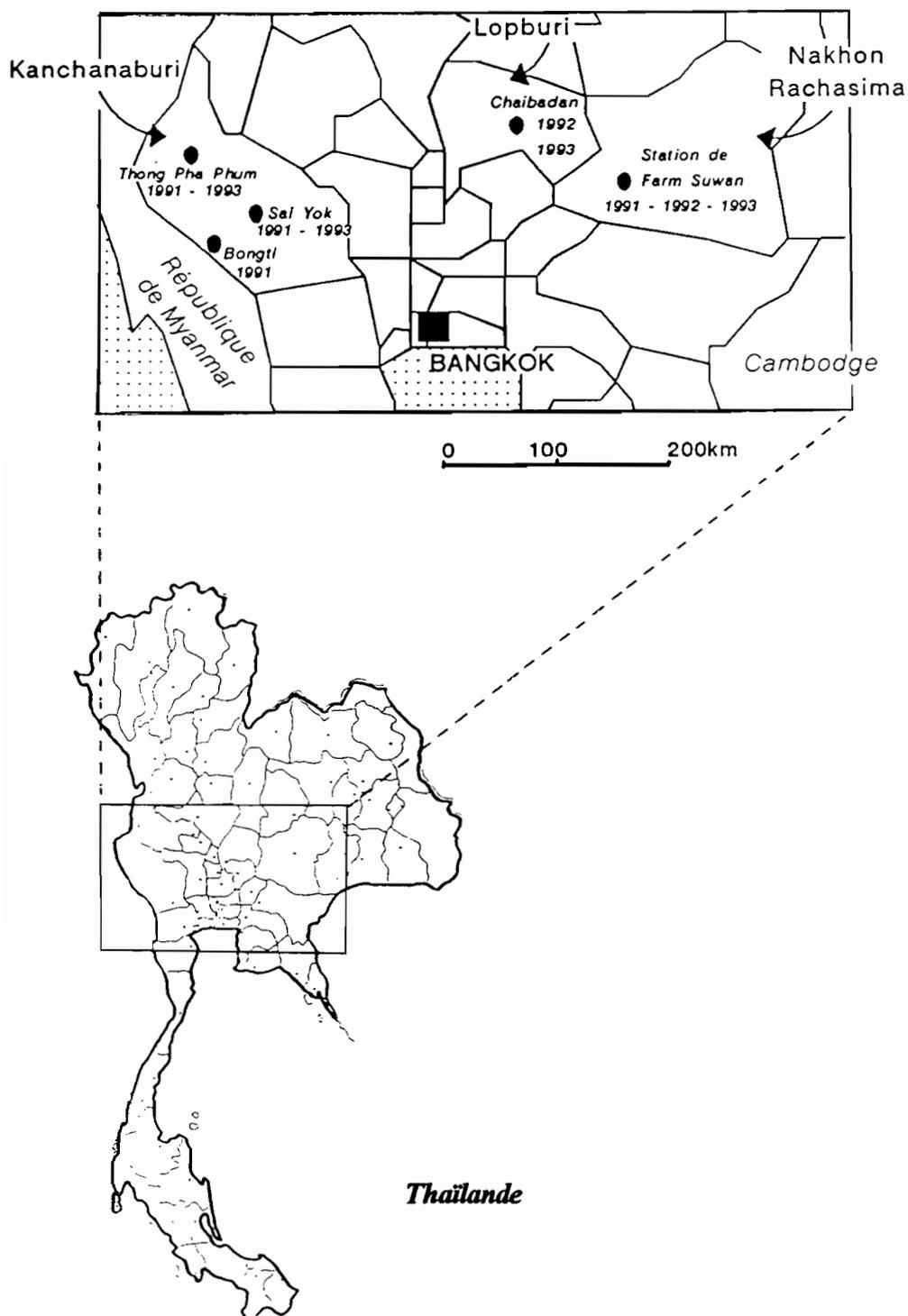
#### 5.2 METHODE

L'insertion des essais phytosanitaires dans la problématique de recherche est présentée au chapitre 3. Un réseau d'expérimentations a été établi durant trois années successives, de 1991 à 1993, dans deux zones cotonnières situées à la périphérie de la plaine centrale (provinces de Kanjanaburi et Lopburi) ainsi qu'à la station de recherche de Farm Suwan en Thaïlande (Figure 5.1).

**Figure 5.1.** Carte du dispositif régional d'expérimentation phytosanitaire (1991-1993).

*en milieu paysan*: province de Kanchanaburi (districts de Sai Yok, Bongti et Thong Pha Phum; cf DORAS, 1992) et Lopburi (district de Chaibadan)

*en station expérimentale*: province de Nakhon Rachasima: station de Farm Suwan



### 5.2.1 Le dispositif expérimental

Les traitements correspondant à une couverture phytosanitaire croissante sont répartis sur deux blocs selon un dispositif en échelle double, comme présenté ci-dessous.

Bloc 1				Bloc 2			
Non Protégé 1	Protection Végétative 1	Protection sur Seuil 1	Protection Poussée 1	Protection Poussée 2	Protection sur Seuil 2	Protection Végétative 2	Non Protégé 2

Cette méthode est largement pratiquée par la recherche cotonnière en Afrique francophone. Les parcelles non traitées sont disposées sur les parties périphériques de l'essai afin de permettre l'observation de l'entomofaune auxiliaire (CAUQUIL *et al.*; 1989).

La surface de chaque parcelle élémentaire est fixée à 400 m<sup>2</sup>. Les choix effectués pour la densité de plantation (1,6 plants/m<sup>2</sup> après démariage, pour un espacement entre poquets de 1,25 m x 0,5 m) ainsi que les variétés (Sri Samrong 2 et Sri Samrong 60) ont été guidés par les recommandations des services de vulgarisation qui correspondent aussi à la pratique la plus courante en milieu paysan (DOA, 1984; CASTELLA *et al.*, 1992).

Le nombre total de parcelles élémentaires implantées sur le réseau d'essais phytosanitaires est de 116. Le détail des protocoles expérimentaux selon les années et les sites de recherche sont présentés en annexe 5.1-a.

### 5.2.2 Les programmes de pulvérisation insecticide

Quatre niveaux de protection phytosanitaire ont été définis :

- NP (Non Protégé).
- PV (Protection Végétative) est un traitement expérimental ne recevant aucune protection par voie aérienne. Les semences ont été traitées par un insecticide systémique: l'imidachlopride. Il assure une protection particulièrement efficace contre les jassides sur une période de 50 jours environ après le semis, qui correspond à la phase végétative du cotonnier (GENAY *et al.*, 1993). Cet objet a été ajouté au dispositif expérimental en 1993, dès que ce produit a été disponible.
- PS (Protection sur Seuil). Il s'agit d'un programme de pulvérisation déclenché selon des seuils économiques d'intervention déterminés par le Département de l'Agriculture pour chaque type de ravageur (DOA, 1992):
  - Pucerons: plus de 20% des feuilles observées présentent des colonies de pucerons.

- Jassides: plus de 1 larve en moyenne par feuille.
- Chenilles carpophages (*Helicoverpa armigera*): plus de 20 chenilles pour 100 plants.

Ce traitement a conduit à environ 5 à 9 applications d'insecticides (Annexe 5.1-b).

- PP (Protection Poussée) correspond à un programme hebdomadaire systématique de pulvérisations insecticides (13 à 15 par cycle cultural). Le choix des matières actives dépend des ravageurs présents.

Les pulvérisations d'insecticides ont été réalisées à l'aide d'un pulvérisateur à pression entretenue, équipé d'une rampe. Il permet de traiter deux rangs en un seul passage, à un volume de 100 à 200 l/ha selon la croissance des plants. Sur certains essais à forte croissance végétative un pulvérisateur à moteur a été utilisé afin de favoriser la pénétration des insecticides dans le couvert végétal.

### 5.2.3 Les dates de semis

En 1991 et 1992 les essais ont tous été semés au cours des trois premières semaines de Juillet conformément à la recommandation du Département de l'Agriculture. L'année suivante, le dispositif à quatre niveaux de protection phytosanitaire a été croisé avec trois dates de semis sur chacun des sites expérimentaux. En effet, les résultats obtenus les années précédentes ainsi que les pratiques des agriculteurs (étudiées par voie d'enquêtes) suggéraient une augmentation progressive de la pression parasitaire au cours de la saison des pluies. La période de semis pouvait donc être fortement associée aux niveaux de dégâts.

### 5.2.4 Les données collectées

La nature des traitements a varié selon les types d'insectes ravageurs et leur nombre. Aucune parcelle de type PS n'a reçu la même quantité d'insecticide appliquée à la même fréquence. Les traitements de type PV ont été rigoureusement identiques sur chacun des essais mais ils ont subi différents types de dégâts car ils n'ont pas été confrontés aux mêmes situations parasitaires à la même période de leur cycle cultural.

Il était impossible de maîtriser artificiellement les niveaux d'infestation de ravageurs ni la composition de l'entomofaune. La démarche utilisée a donc consisté à caractériser le plus finement possible les pressions parasitaires naturelles ainsi que les composantes du rendement aux stades de développement successifs du cotonnier.

Les données collectées sont donc de trois natures différentes. Elles concernent le peuplement végétal, les populations de ravageurs et les états du milieu (Tableau 5.1).

**Tableau 5.1.** Nature des données collectées et fréquence des observations sur l'ensemble du dispositif expérimental.

Objet	Donnée collectée	Nature des observations	Unités	Date ou Fréquence
Peuplement végétal	Densité	Nombre de plants sur 4 lignes centrales	plants/m <sup>2</sup>	45 jours après semis à la récolte
	Hauteur	Hauteur moyenne de 50 plants sur 5 lignes centrales	cm	30, 60, 90 et 120 jours après semis
	Floraison	Comptage de toute les fleurs blanches (du jour) sur quatre lignes	fleurs/m <sup>2</sup>	tous les 3 jours de la floraison à 120 Jours après semis
	Symptômes foliaires	Nombre de plants présentant des symptômes de nécrose des tissus foliaires liés aux attaques de jassides ou de maladie bleue	% de plants	hebdomadaire
	Architecture des plants	Comptage de l'ensemble des organes fructifères sur 10 plants de la ligne centrale. Notation des positions des bourgeons floraux et capsules présentes.	organes /m <sup>2</sup>	60, 90 et 120 jours après semis
	Abscission	Prélèvement de tous les organes fructifères tombés au sol entre deux interlignes. Répartition en 6 catégories: bourgeons floraux et capsules (sains, pourris, troués par les chenilles)	organes /m <sup>2</sup>	hebdomadaire
	Analyse sanitaire à maturité	Collecte des capsules déhiscentes de 40 plants à chaque passage de récolte. Les capsules sont réparties en 5 classes (saines, trouées, pourries piquées et momifiées)	capsules /m <sup>2</sup>	à la récolte
	Rendement	Récolte du coton-graine sur 4 lignes centrales	kg/ha	3 collectes successives
Insectes ravageurs	Pucerons	Nombre de feuilles présentant des colonies de pucerons parmi 5 feuilles de la couronne terminale	% de feuilles	hebdomadaire
	Jassides	Nombre de formes larvaires et adultes comptées sur 5 feuilles du bouquet terminal	jassides /feuille/m <sup>2</sup>	hebdomadaire
	Autres piqueurs-suceurs	Nombre de thrips et aleurodes comptés sur 5 feuilles du bouquet terminal	insectes /feuille/m <sup>2</sup>	hebdomadaire
	Chenilles carpophages	Comptage du nombre de chenille sur 20 plants des 4 lignes centrales par parcelle. Pour <i>H. armigera</i> comptage des oeufs sur les mêmes 20 plants.	chenilles /m <sup>2</sup>	hebdomadaire
	Insectes auxiliaire	Comptage des coccinelles et araignées sur 20 plants des 4 lignes centrales.	insectes /m <sup>2</sup>	hebdomadaire
Milieu bio-physique	Pluviométrie	Enregistrement des précipitations sur chaque site grâce à un pluviomètre	mm	journalier
	Analyse de sol	Analyse chimique et granulométrique d'échantillons de sol		avant semis

### 5.2.5 Transformation des données:

L'intégration de l'information concernant les populations d'insectes ravageurs sur un intervalle de temps revient à établir de nouvelles variables mieux à même de décrire les dégâts parasitaires et leurs effets aux phases successives du processus d'élaboration du rendement (ZADOKS, 1985).

Les données de terrain (Tableau 5.1), présentées sous forme de comptage d'insectes en fonction du temps (DORAS, 1992; 1993; 1994), ont été transformées comme suit:

- En raison des niveaux élevés d'infestation du jasside *Amrasca biguttula* et de la chenille *Helicoverpa armigera* ainsi que des types de dégâts très caractéristiques dont ils sont à l'origine, ces deux insectes ont été choisis pour représenter le groupe des piqueurs-suceurs d'une part et celui des chenilles carpophages d'autre part (Chapitre 2).
- L'information collectée sous forme de comptages hebdomadaires de ces deux ravageurs, a été synthétisée en calculant l'aire sous la courbe<sup>1</sup> d'infestation à trois périodes clef du développement du cotonnier: 30-60, 60-90 et 90-120 jours après semis (cf. Chapitre 2) (JOHNSON *et al.*, 1986; CAMPBELL et MADDEN, 1990; SAVARY *et al.*, 1994). En effet, la présence d'insectes n'a pas les mêmes conséquences sur les dégâts occasionnés selon le stade de développement auquel elle intervient (HEARN et ROOM, 1979; FORRESTER et WILSON, 1988).
- Enfin, le logarithme neperien des aires sous la courbe a été calculé pour les deux types de ravageurs afin d'homogénéiser la variance. Cette transformation est justifiée par le risque de surévaluer des dégâts liés à de fortes infestations parasitaires et, à l'inverse, de minimiser les conséquences sur le dommage d'un faible nombre de ravageurs. WILSON et WAITE (1982) observent une diminution marginale des niveaux de dégâts lorsque les attaques d'insectes augmentent au delà d'une certaine limite.

Le complexe parasitaire est finalement caractérisé par six variables: J1, J2, J3 pour les jassides et Ch1, Ch2, Ch3 pour *H. armigera* aux trois phases successives de sensibilité du cotonnier (Annexe 5.5). Par ailleurs, l'ensemble de l'information collectée a été ramenée à une surface d'1 m<sup>2</sup> de cotonniers.

Ces transformations de variables ne concernent que les parcelles, au nombre de 80, sur lesquelles l'ensemble de l'information nécessaire à l'analyse des interactions infestations d'insectes / dégât / dommage, avait été collectée. Des résultats obtenus

---

<sup>1</sup> Le calcul de l'aire sous la courbe d'infestation permet de comparer des parcelles pour lesquelles la fréquence de collecte des données n'est pas rigoureusement identique.

sur 36 autres parcelles, mais limités aux infestations de ravageurs, sont analysés, avec ces 80 parcelles, dans le paragraphe 5.3.1. (voir le détail du réseau expérimental en annexe 5.1-a).

### 5.3 LE COMPLEXE PARASITAIRE DU COTONNIER

L'évolution au cours du cycle cultural des niveaux d'infestation de chaque insecte ravageur constitue un profil parasitaire spécifique à chaque parcelle. A titre d'exemple, le diagramme de la figure 5.2. résume 'l'histoire parasitaire' de l'essai mené en 1992 sur le site de Lopburi<sup>1</sup>.

Des profils parasitaires de ce type ont été établis pour chaque parcelle élémentaire. De leur comparaison ressort la grande variabilité géographique et interannuelle des attaques de ravageurs (DORAS, 1992, 1993, 1994). Différents enseignements peuvent être tirés de cette information.

#### 5.3.1 Variabilité saisonnière des niveaux de pression parasitaire.

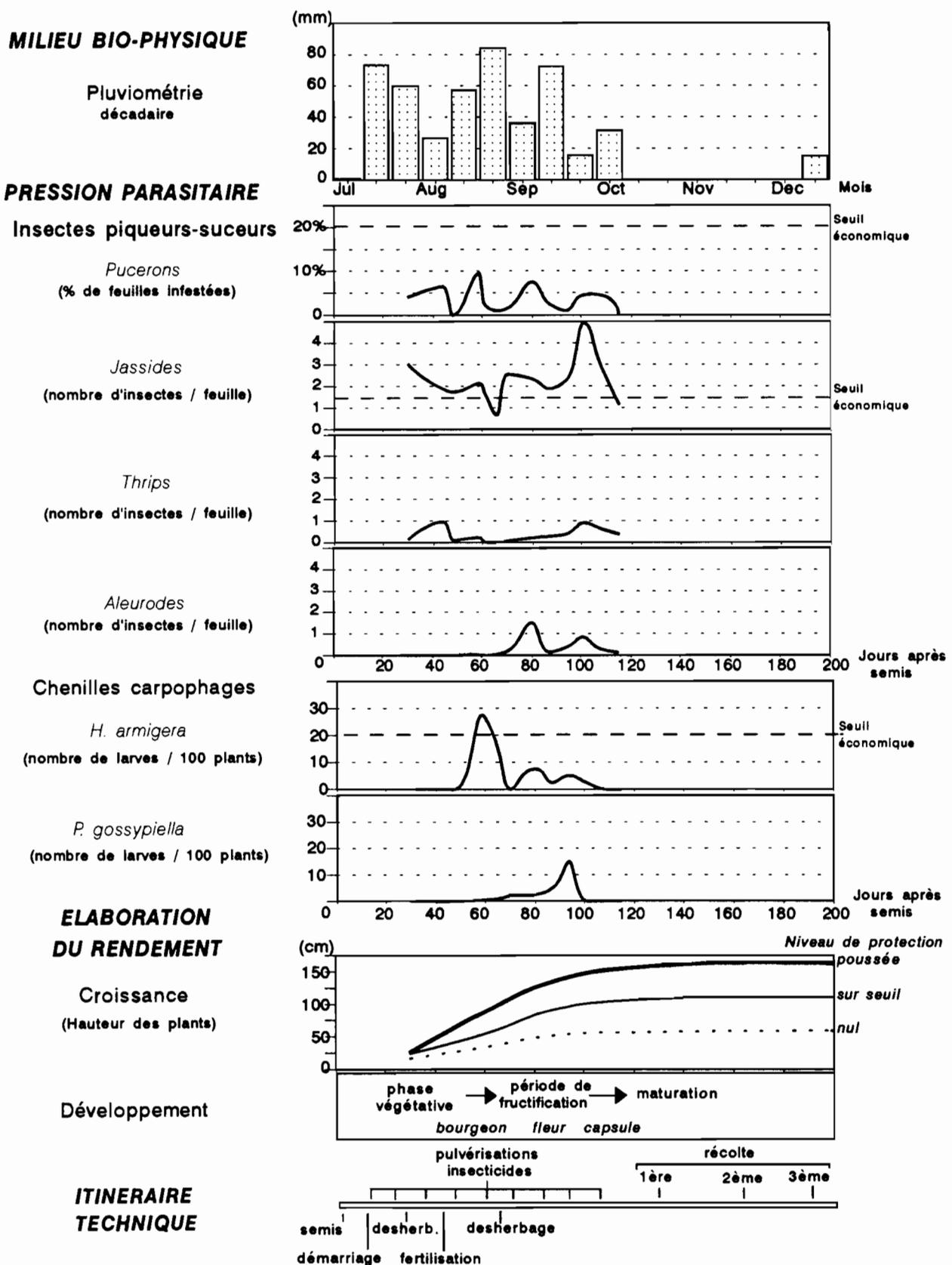
Une analyse fréquentielle des infestations d'insectes ravageurs a été réalisée à partir des profils parasitaires obtenus sur les 116 parcelles expérimentales pour les deux principales composantes du complexe parasitaire: *Amrasca biguttula* (Annexe 5.2) et *Helicoverpa armigera* (Figure 5.3). Cette méthode revient à superposer l'ensemble des courbes d'infestation obtenues pour un insecte donné. Elles sont disposées selon les dates d'observations sur une abscisse correspondant au calendrier Julien. L'année est alors découpée en intervalles d'une décade sur laquelle on calcule les fréquences d'infestation. Une telle analyse réalisée sur un grand nombre d'années et en de nombreux sites autorise à assimiler ces fréquences à des probabilités (FRANQUIN, 1973).

Dans notre cas, les essais menés sur trois ans et sur trois sites expérimentaux seulement ne sont pas représentatifs de l'importante variabilité spatiale et temporelle des attaques de ravageurs. Les résultats n'ont donc pas valeur prédictive. Cependant, les analyses fréquentielles permettent de décrire des évolutions qui n'apparaissent pas à l'analyse de chaque profil parasitaire pris individuellement.

---

<sup>1</sup> Pour simplifier la lecture de ce graphe, les données présentées relatives aux insectes piqueurs-suceurs ont été collectées sur les parcelles non protégées (NP). Les populations "naturelles" de chenilles carpophages sont évaluées sur les traitements PV. En effet, les attaques précoces de jassides réduisent si fortement la croissance végétative que les cotonniers sont très peu appétents pour les chenilles. Les seuils économiques d'intervention indiqués sur les courbes d'infestation de pucerons, jassides et *H. armigera* sont ceux présentés au paragraphe 5.2.2.

**Figure 5.2:** Profil parasitaire saisonnier sur cotonnier, site expérimental en milieu paysan de Lopburi, 1992.



Ces courbes de fréquence révèlent une augmentation tendancielle des infestations en cours de saison. Elles peuvent être interprétées comme un accroissement des effectifs à chaque génération successive<sup>1</sup> à partir d'un nombre limité d'individus au sortir d'une période défavorable au développement des populations d'insectes: la saison sèche (RASMIDATTA, 1984). Par ailleurs, les résultats obtenus pour *H. armigera* tendent à confirmer le modèle théorique proposé par LUTTREL (1993). Ce modèle décrit une augmentation progressive du phénomène de résistance des ravageurs aux insecticides en cours de saison culturale. A partir de la courbe de populations d'insectes proposée par STERN *et al.* (1959) (en trait continu sur la figure 5.4), LUTTREL (1993) montre que la pression de sélection exercée par les traitements insecticides sur les individus résistants entraîne une augmentation des effectifs à chaque génération (courbe en pointillés de la figure 5.4). Les oscillations d'intensité croissante témoignent de ce phénomène. La fréquence des fortes attaques de chenilles en fin de saison des pluies (octobre, novembre) relevée par DELALANDE (1971) et GENAY (1994), de même que des échantillons de chenilles fortement résistantes aux pyréthrinoides, collectées à cette même période (CARON, 1992), tendraient à confirmer ces résultats.

### 5.3.2 Variabilité des pertes de récolte selon les niveaux de protection phytosanitaire

#### ■ Diversité des potentiels de production et des pertes de récolte sur le réseau expérimental.

La distribution des fréquences de rendements et de dommages obtenue sur les essais témoigne de la grande diversité des niveaux de production observés selon les sites et les années (Annexe 5.3-a). Le dommage d'origine parasitaire, sur une parcelle expérimentale donnée, est exprimé par le rapport :

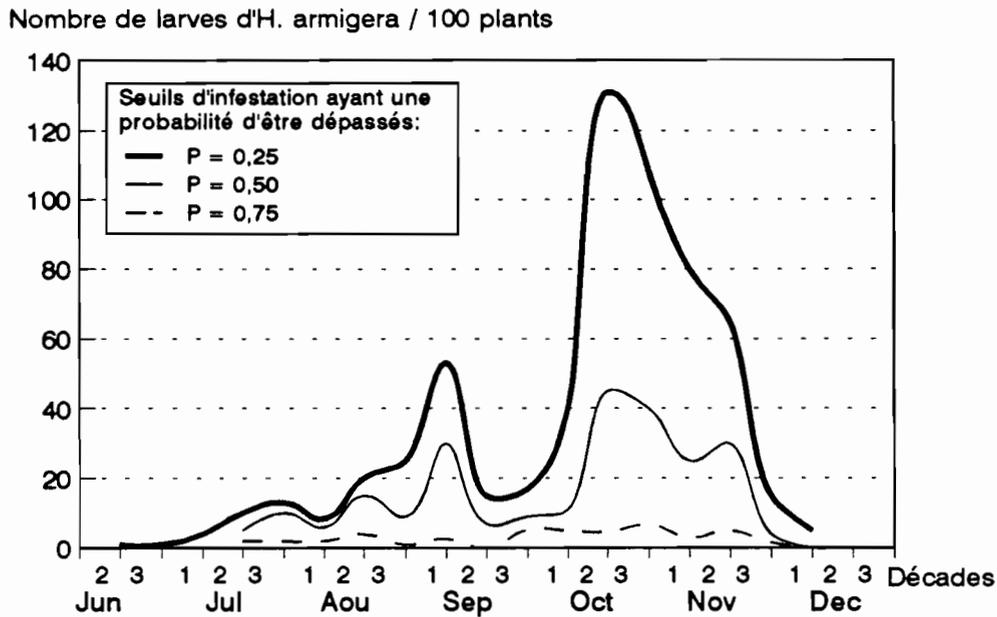
$$(Rdt_{PP} - Rdt)/Rdt_{PP}$$

avec Rdt = rendement obtenu sur la parcelle étudiée et  
Rdt<sub>PP</sub> = rendement du traitement protection poussée (PP) sur le même bloc.

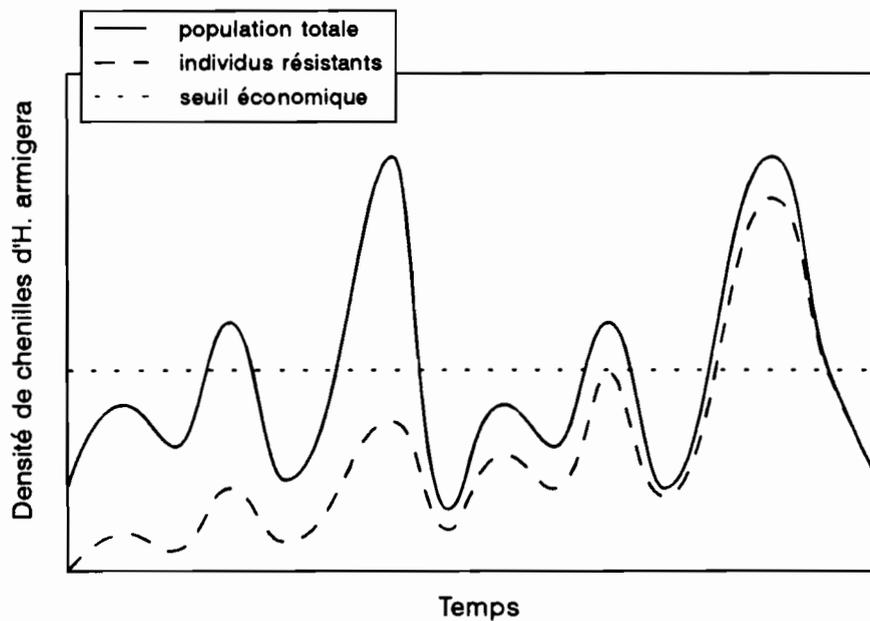
Un dommage égal à 1 correspond donc à une perte de récolte totale. Les résultats présentés en annexe 5.3-b confirment l'importance primordiale de la contrainte parasitaire comme facteur limitant le rendement (DORAS, 1992, 1993, 1994).

<sup>1</sup> Une génération dure environ 40 jours à 25°C (cf. Chapitre 2).

**Figure 5.3.** Analyse fréquentielle des infestations des chenilles d'*H. armigera* au cours de la saison culturale



**Figure 5.4.** Courbes théorique représentant des dynamiques de population de chenilles *H. armigera*. En trait continu: modèle proposé par STERN *et al.* (1959). En pointillés: modèle adapté du précédent dans le cas d'une pression de sélection sur les individus résistants aux insecticides (LUTTREL, 1993).



La figure 5.5 est réalisée à partir des fréquences de dommage (présentés en annexe 5.3-b). Elle montre l'efficacité relative des différents programmes de protection sur le dommage d'origine parasitaire. Si, par exemple, on coupe les trois courbes par une droite horizontale correspondant à un dommage de 0.2, la probabilité d'observer des pertes de récolte inférieures à cette valeur est de 0.1 pour les parcelles les moins protégées (NP et PV) contre 0,5 pour le traitement PS. La courbe du traitement PS est décalée vers la droite, soulignant l'effet réducteur du niveau de protection sur le dommage parasitaire. Cependant, la protection sur seuil (PS) ne parvient pas dans tous les cas à assurer un contrôle des insectes ravageurs aussi efficace que la protection poussée (PP). La forte pente de la courbe PV (pour une abscisse comprise entre 0.5 et 0.6) sépare deux groupes de parcelles de même taille (50% de l'effectif total) dont l'un a été très attaqué (pertes supérieures à 80%) alors que l'autre a subi des dégâts plus faibles (< 40%). Ce résultat suggère qu'une simple protection par traitement de semence parvient, dans 50% des cas, à réduire le dommage lié à la présence des jassides, par rapport aux parcelles non protégées (NP).

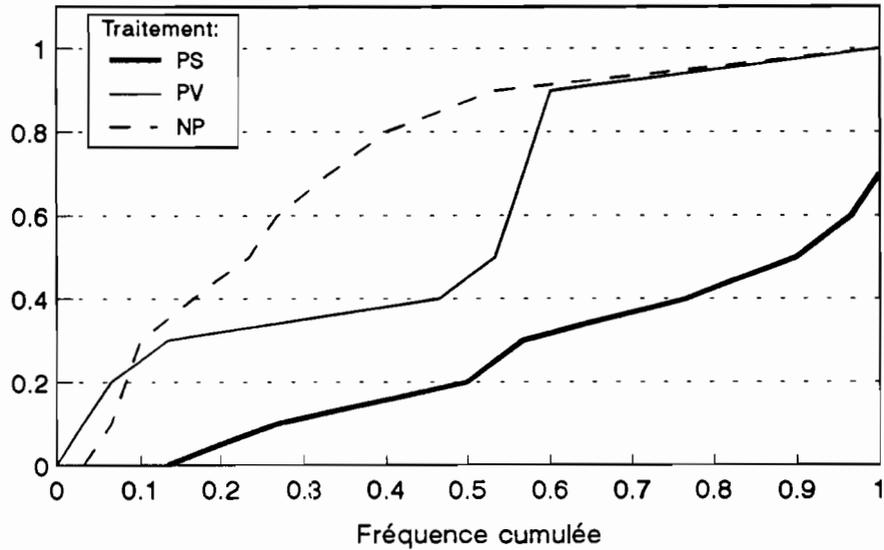
■ *Variabilité des pressions de ravageurs selon les niveaux de protection phytosanitaire.*

L'aire sous la courbe des comptages d'insectes en fonction du temps est utilisée pour représenter un niveau d'infestation global, subi par les cotonniers au cours d'un cycle cultural: intervalle de 30 à 120 jours après le semis (JOHNSON *et al*, 1986). Chaque parcelle est caractérisée par cet indicateur d'infestation d'insectes ravageurs.

L'analyse de ces courbes de fréquence d'infestations parasites suggère que les populations de jassides sont bien contrôlées par le traitement des semences des parcelles PV (Figure 5.6). En effet, la courbe PV est comparable à celle des traitements PS et PP alors que les parcelles NP subissent des infestations bien supérieures (courbe décalée vers la gauche). Par contre, il semble que les attaques de chenilles soient plus importantes sur les parcelles les mieux protégées PP et PS (Figure 5.7). Une ordonnée égale à 2 correspond respectivement à une probabilité de 0.2, 0.3, 0.55 et 0.67 pour les objets PS, PP, PV et NP. C'est à dire qu'il y a respectivement 80, 70, 25 et 33% de chance de trouver plus de 2 'chenilles/jour/m<sup>2</sup>' sur les traitements PS, PP PV et NP. Certaines attaques d'*H. armigera* n'ont pas été contrôlées par les pulvérisations hebdomadaires du traitement PP, soit 15 à 18 traitements par saison. Par ailleurs, les traitements PV et NP, qui ne diffèrent que par leur action sur les jassides, présentent une différence notable vis à vis des infestations d'*H. armigera*. La faible appétence pour les chenilles des cotonniers fortement attaqués par les jassides est peut être à l'origine du décalage entre les deux courbes sur la figure 5.6 (DORAS, 1992).

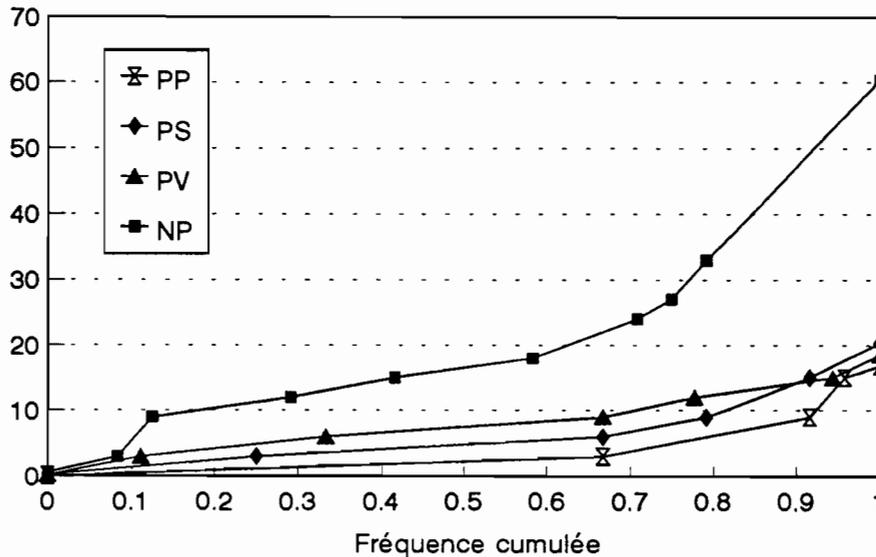
**Figure 5.5.** Fréquence cumulée du dommage d'origine parasitaire. Le dommage, exprimé en terme d'écart relatif au rendement des parcelles PP:  $(Rdt_{PP} - Rdt)/Rdt_{PP}$ , est calculé à partir des données enregistrées sur 84 parcelles élémentaires (traitements NP, PV et PS) du réseau expérimental.

Pertes de récolte par rapport au traitement PP



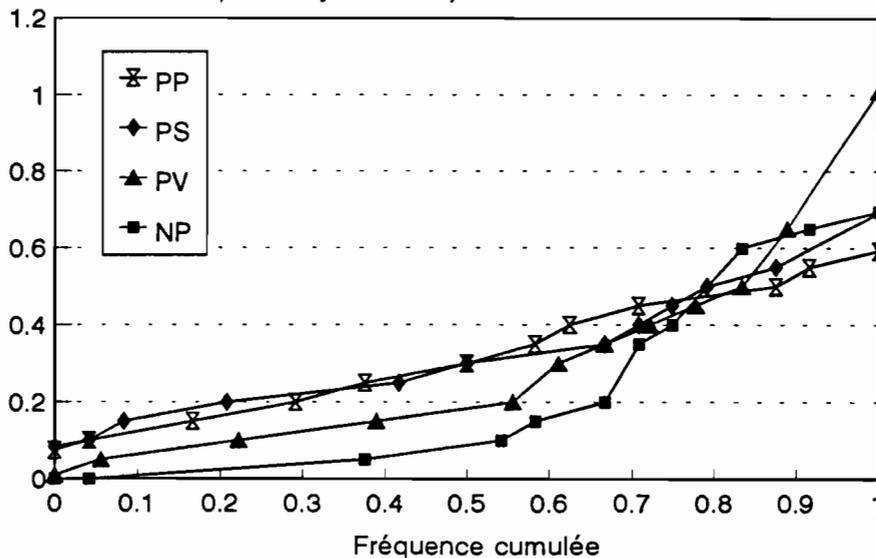
**Figure 5.6.** Fréquence cumulée des aires sous la courbe d'infestation de jassides selon le degré de protection insecticide sur le réseau expérimental.

Aire sous la courbe d'infestation de jassides  
(nombre de jassides par feuille x jours x 1000)



**Figure 5.7.** Fréquence cumulée des aires sous la courbe d'infestation d'*H. armigera* selon le degré de protection insecticide sur le réseau expérimental.

Aire sous la courbe d'infestation d'*H. armigera*  
(nombre de chenilles par m<sup>2</sup> x jours x 1000)



### 5.3.3 *Le complexe parasitaire: un système en interaction*

#### ■ *Les interactions entre les ravageurs et leurs prédateurs.*

L'entomofaune non perturbée par des opérations de protection des cultures peut être considérée comme un système écologique en équilibre. Elle est caractérisée par des phénomènes de régulation des populations d'insectes par des prédateurs, parasites et autres entomopathogènes présents à l'état naturel (BRADER, 1979; KHOOSOO, 1990). Cependant, les produits insecticides ont souvent pour effet de détruire les prédateurs de l'insecte cible avant de venir à bout de celui-ci (CONWAY et PRETTY, 1991). Ces relations de prédation au sein du complexe parasitaire constituent l'un des fondements de la lutte biologique. Cependant, elles ne sont que très rarement observables dans les systèmes de culture cotonniers thaïlandais en raison des déséquilibres écologiques engendrés par l'utilisation abusive d'insecticides (BOON-LONG *et al.*, 1986; NAPOMPETH, 1990; WAIBEL et SETBOONSARNG, 1992).

Les fréquences cumulées de présence d'insectes auxiliaires sur le réseau expérimental (présentées en annexe 5.4), témoignent de la faiblesse des populations de prédateurs sur les parcelles traitées aux insecticides.

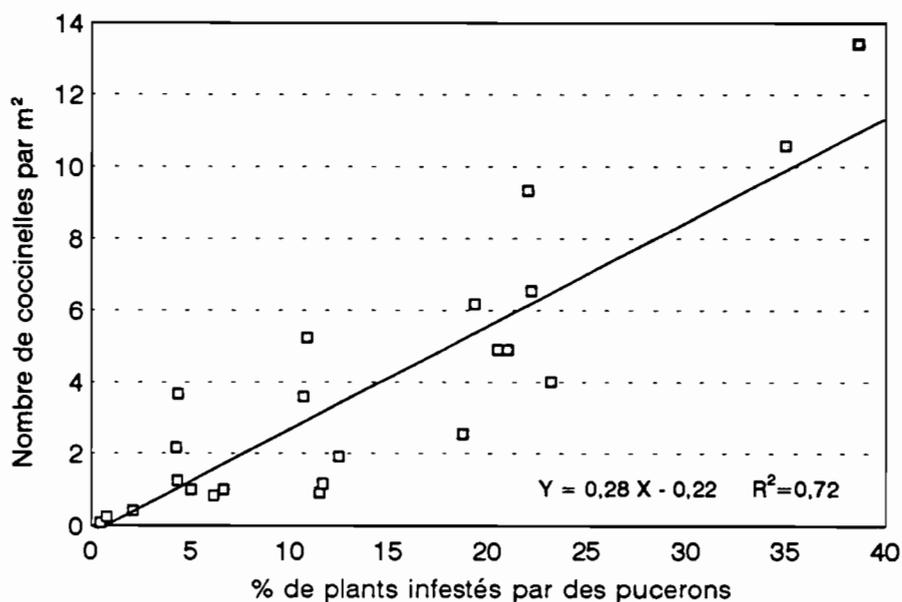
Les figures 5.8 et 5.9 présentent les relations entre les populations de ravageurs: pucerons et jassides et celles de leurs prédateurs: respectivement coccinelles et araignées. Les courbes de régression suggèrent un processus naturel de régulation des populations de ravageurs. Cependant, l'entomofaune est tellement déséquilibrée en faveur de ces derniers que ces relations de prédateurs ne parviennent pas à limiter des dégâts importants sur les traitements NP.

#### ■ *Les interactions entre insectes ravageurs.*

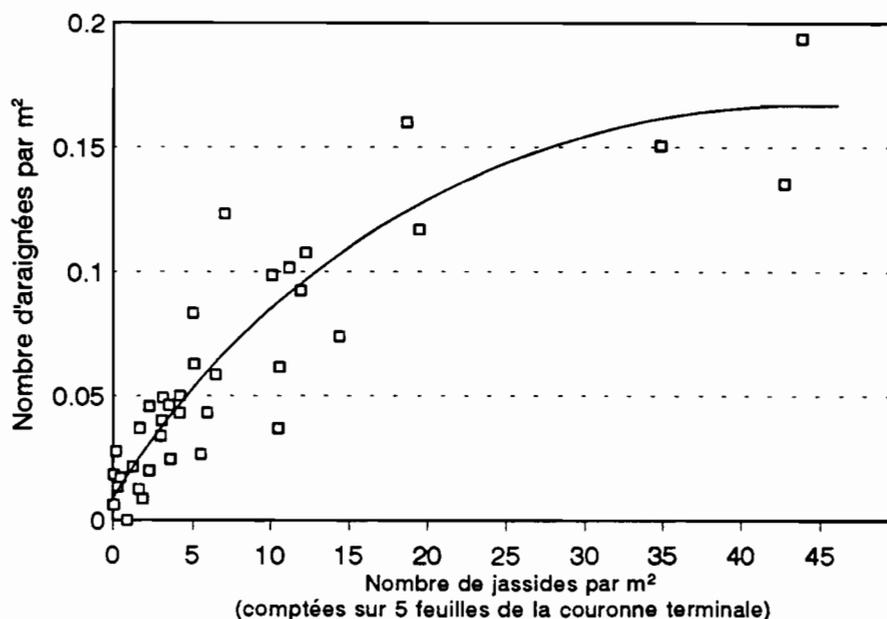
##### **Effet de la destruction des jassides sur les populations de thrips et d'aleurodes**

Un autre phénomène lié au déséquilibre de l'entomofaune en faveur de certains insectes concerne d'autres ravageurs potentiels dont les dégâts actuels peuvent sembler négligeables. En effet, les populations de pucerons, de thrips et d'aleurodes demeurent à des niveaux relativement faibles sur les parcelles non protégées en raison, semble-t-il, de la prédominance des jassides (GENAY, 1994). On a observé peu de dégâts liés à ces ravageurs, tels que par exemple la maladie bleue transmise par les pucerons, la déformation des plants par destruction du bourgeon terminal caractéristique des thrips, ou les sécrétions des aleurodes responsables des 'cotons collants' en fin de cycle (MATTHEWS, 1989). Cette compétition directe entre insectes pour la même ressource alimentaire sur les feuilles de cotonniers masque les effets d'une partie du complexe parasitaire sur les dégâts. Par contre, des attaques de thrips

**Figure 5.8.** Relation entre les infestations de pucerons et les populations de coccinelles sur les parcelles non traitées du réseau expérimental en 1991. Chaque point correspond à la valeur moyenne, sur une saison de culture, des comptages hebdomadaires de coccinelles en ordonnées et % de plants infestés par les pucerons en abscisse. On obtient donc un point par parcelle élémentaire.



**Figure 5.9.** Relation entre les infestations de jassides et les populations d'araignées sur les parcelles non traitées du réseau expérimental (sites de Kanjanaburi et Farm Suwan en 1991 et 1993). Chaque point correspond à la valeur moyenne, sur une saison de culture, des comptages hebdomadaires d'insectes.



et d'aleurodes ont été observées principalement sur les parcelles traitées de manière spécifique contre les jassides (Figures 5.10 et 5.11).

Les courbes enveloppes délimitent deux zones, l'une d'elle seulement étant explorée par les deux types de ravageurs (WEBB, 1972). La forme du domaine regroupant l'ensemble des points suggère une interaction négative entre les deux types de ravageurs. Ainsi par exemple, à Lopburi en 1993, 85% des plants ont été déformés par des dégâts de thrips sur les traitements PV contre 23% sur NP. Là encore la différence de maîtrise des populations de jassides semble avoir des conséquences sur les populations de 'ravageurs secondaires'.

Il semble donc que le maintien des populations d'un ravageur d'importance majeure, en termes de dégâts, en dessous d'un certain seuil puisse favoriser l'émergence d'autres éléments du complexe parasitaire (KERNS et GAYLOR, 1991). Historiquement, *Helicoverpa* s'est imposé comme un ravageur important du cotonnier à la faveur des traitements insecticides dirigés contre les insectes piqueurs-suceurs (BOTTRELL et ADKISSON, 1977; GIPS, 1987; DORAS, 1992).

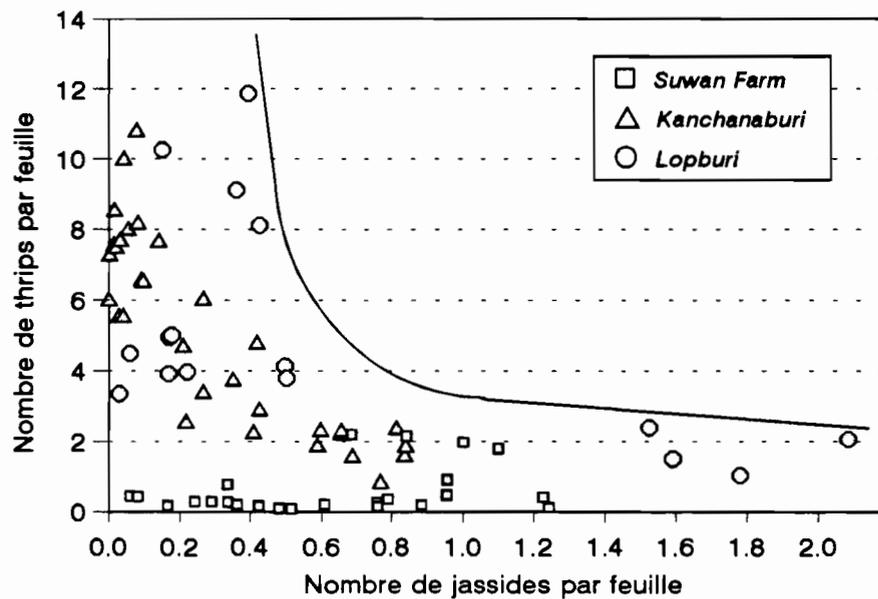
### Interactions entre jassides et chenilles

Une analyse des interactions entre insectes ravageurs a consisté à étudier les corrélations entre leurs populations à trois périodes successives de développement du cotonnier (cf. paragraphe 5.2.5 pour le détail sur la transformation des données).

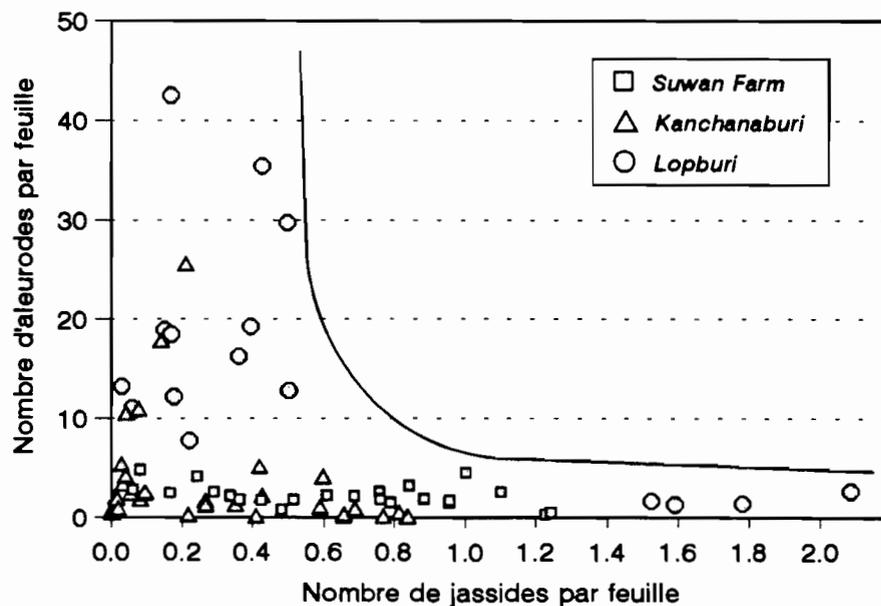
Le tableau 5.2 suggère trois types de commentaires:

- Les infestations d'un même insecte ravageur aux stades de développement successifs du cotonnier sont généralement interdépendantes. Les variables J1, J2 et J3 sont corrélées positivement entre elles de même que Ch2 et Ch3. Cependant, la relation avec Ch1 n'est pas significative. Ces remarques tendent à confirmer les résultats présentés en annexe 5.2 et sur la figure 5.3, qui soulignent une augmentation tendancielle des populations d'insectes.
- Les relations entre ravageurs à la même période s'inversent progressivement en cours de saison. Ces insectes n'étant pas en compétition directe pour une même ressource, on ne s'attend pas, a priori, à observer des interactions entre leurs populations respectives (Chapitre 2). Mais J1 et Ch1 sont corrélés positivement suggérant une attraction pour la plantule surtout liée aux niveaux de protection phytosanitaire. On observe par la suite une relation négative entre les infestations de jassides et de chenilles (J3 et Ch3 sont fortement corrélées:  $r_{J3-Ch3} = -0,3$ ).
- Il semble que ces deux ravageurs soient en interaction par l'intermédiaire des dégâts causés à leur plante hôte. Les attaques de chenilles en troisième période sont d'autant moins importantes que les dégâts de jassides accumulés sur tout le cycle cultural ont réduit la fructification sur lesquelles elles s'alimentent. Ainsi, on

**Figure 5.10.** Relation entre les population de jassides et de thrips sur le réseau expérimental. Chaque point correspond à la valeur moyenne, sur une saison de culture, des comptages hebdomadaires d'insectes. Ces valeurs ont été ramenées à une feuille de cotonnier.



**Figure 5.11.** Relation entre les population de jassides et d'aleurodes sur le réseau expérimental. Chaque point correspond à la valeur moyenne, sur une saison de culture, des comptages hebdomadaires d'insectes. Ces valeurs ont été ramenées à une feuille de cotonnier.



**Tableau 5.2.** Matrice de corrélation entre les aires sous la courbe d'infestation des jassides (J1, J2, J3) et des chenilles d'*H. armigera* (Ch1, Ch2, Ch3) aux trois phases de sensibilité du cotonnier sur 80 parcelles élémentaires du dispositif expérimental. Les corrélations correspondant aux cases grisées sont significatives à  $P < 0,01$ .

	J2	J3	Ch1	Ch2	Ch3
J1	0,548	0,364	0,438	-0,428	-0,436
J2		0,658	0,066	-0,090	-0,629
J3			0,039	-0,258	-0,297
Ch1				0,135	0,144
Ch2					0,351

relève des corrélations négatives très significatives entre populations d'insectes observées sur des intervalles de temps différents ( $r_{J1-C3} = -0,43$ ). Il ne peut s'agir dans ce cas d'interactions directes. Ce phénomène est conforme aux résultats décrits dans les figures 5.6 et 5.7 : les parcelles les moins protégées subissent les plus fortes attaques de jassides mais sont peu touchées par les chenilles.

## 5.4 ANALYSE DES INTERACTIONS PLANTE-RAVAGEURS SUR LE PROCESSUS D'ELABORATION DU RENDEMENT

Le complexe parasitaire auquel est soumis le cotonnier dans les conditions de production thaïlandaises peut être décomposé, nous l'avons vu, en deux principaux groupes de ravageurs. Les piqueurs-suceurs se nourrissent sur les feuilles des assimilats produits par la photosynthèse. Ils ont pour conséquence majeure une réduction de la croissance végétative, qui peut entraîner une chute d'organes fructifères (TIDKE et SANE, 1962; AHMAD et al., 1985). Les chenilles carpophages, dont *Helicoverpa armigera* est considéré comme le plus dangereux représentant, s'attaquent aux organes reproducteurs (LIPPOLD, 1973; MABBETT, 1982; MATTHEWS, 1989; RING et BENEDICT, 1993). De nombreuses études ont été consacrées à ces ravageurs (Chapitre 2). Cependant aucune d'entre elles, à notre connaissance, n'aborde les interactions entre les dégâts parasitaires de natures différentes et leurs effets sur la croissance et les composantes du rendement du cotonnier.

### 5.4.1 Méthode

A l'origine, le concept de 'surface de réponse' a été introduit par les phytopathologistes pour représenter les relations entre dommage, maladie et/ou ravageurs (caractérisés par leur évolution au cours du temps) et développement de la culture (cf Chapitre 2; TENG, 1987; SAVARY, 1991). Cette méthodologie a pour objectif d'analyser les effets sur l'élaboration du rendement d'une gamme, la plus variée possible, de combinaisons entre des infestations de ravageurs et des stades de croissance de la plante (STYNES, 1980; WIESE, 1982). Un dispositif sans répétition fournit une base de donnée pour une analyse de régression des effets de contraintes phytosanitaires multiples sur les composantes du rendement (TENG, 1987; CAMPBELL et MADDEN, 1990).

- Une première étape consiste à sélectionner sur des critères biologiques les variables qui décrivent le mieux les relations entre composantes du rendement et dégâts. Cette démarche, fondée sur l'analyse de graphes croisés, de courbes enveloppes et de régressions linéaires pas à pas, aboutit à un indice de dommage : la variable à expliquer.

- Dans un second temps, l'étude des corrélations entre variables successives a pour objectif de ne conserver dans le modèle que celles qui contribuent significativement à sa description.
- Cette approche conduit enfin à une représentation schématique des relations entre variables explicatives et de leurs effets sur la variable à expliquer : le dommage<sup>1</sup>, grâce à la technique des coefficients de piste (SOKAL et ROHLF, 1981). L'information contenue dans les équations de régression linéaire est synthétisée en un diagramme qui rend compte de phénomènes biologiques (ARIENA *et al.*, 1986; TORRES et TENG, 1993). Les coefficients de piste indiquent l'amplitude relative des dégâts de ravageurs et permettent d'évaluer la contribution directe ou indirecte de chaque variable aux pertes de récolte.

#### 5.4.2 Variables expliquées: mise au point d'un indice de dommage

La première étape de l'analyse des interactions plante - ravageurs consiste à rechercher des indicateurs du niveau général de dommage d'origine parasitaire subi par la culture. Pour ce faire, il est possible de décomposer progressivement le processus d'élaboration du rendement en croisant deux à deux les variables intermédiaires.

La figure 5.12 montre que le rendement (Rdt, exprimé en g de coton-graine par m<sup>2</sup>) est largement déterminé par Ncr (nombre de capsules récoltées par m<sup>2</sup>).

$$\text{Rdt} = 3,96 * \text{Ncr} - 8,43; \quad R^2 = 0.89; \quad n = 84$$

Il peut être décomposé en:

$$\text{Ncr} = \text{Nsf} - \text{Nab}$$

où Nsf est le nombre total de sites fructifères produits par m<sup>2</sup> et Nab le nombre d'organes fructifères abscissés par m<sup>2</sup>.

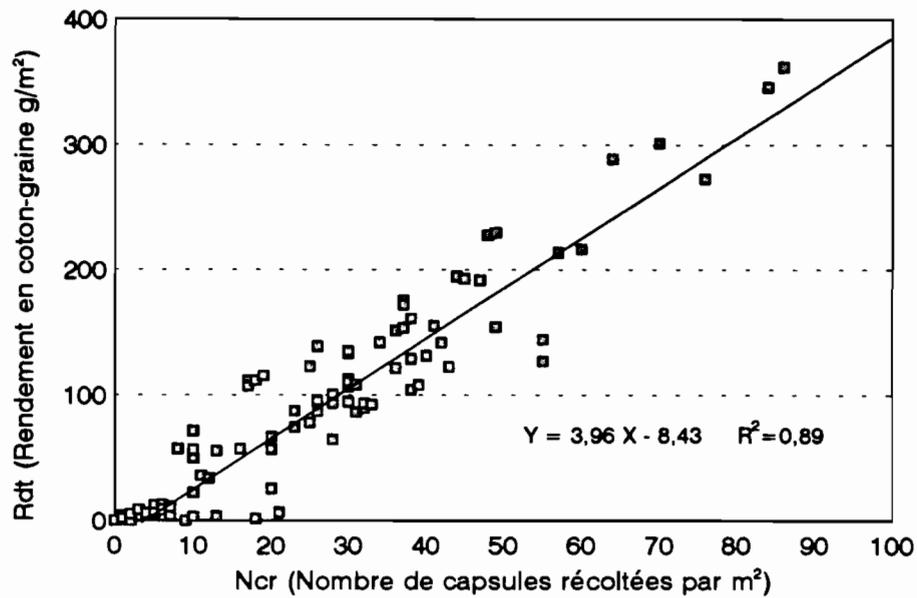
L'abscission totale est répartie selon trois catégories liées à l'origine des dégâts :

$$\text{Nab} = \text{Ns} + \text{Np} + \text{Nt}$$

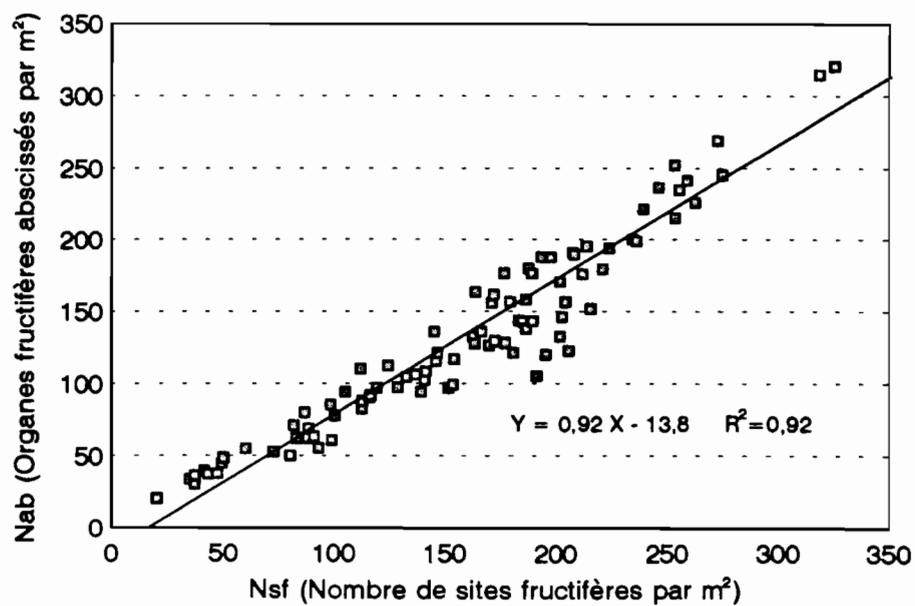
où Ns est le nombre de bourgeons floraux et de capsules tombés sains,  
Np nombre d'organes fructifères pourris ou piqués par les insectes piqueurs-suceurs,  
Nt nombre d'organes fructifères troués par les chenilles carpophages.

<sup>1</sup> Voir définition Chapitre 2 (§ 2.3.1)

**Figure 5.12.** Variations du rendement en coton-graine (Rdt) en fonction du nombre de capsules récoltées par m<sup>2</sup> (Ncr) sur 80 parcelles élémentaires.



**Figure 5.13.** Variations du nombre total d'organes fructifères (bourgeons floraux et capsules) abscissés par m<sup>2</sup> (Nab) en fonction du nombre total de sites fructifères formés par m<sup>2</sup> (Nsf).



Np et Nt peuvent être regroupés sous le terme d'abscission parasitaire alors que Ns est associé à l'abscission physiologique. Le système étudié est constitué par 1 m<sup>2</sup> de parcelle de cotonnier.

La figure 5.13 suggère que les pertes d'organes fructifères sont d'autant plus importantes que la fructification de la plante est favorisée par la croissance végétative. Mais en pratique, même si l'abscission parasitaire est très faible, Ncr ne peut pas être égal à Nsf; on observe toujours un certain niveau d'abscission physiologique indépendamment des conditions de développement du cotonnier (Figure 5.14). Quel que soit le nombre de sites fructifères produits, le nombre de capsules récoltées reste inférieur à la droite d'équation:

$$Y = 0,53 * X - 15,4.$$

Cette courbe enveloppe définit empiriquement un potentiel de capsules accessibles (Ncra) dans les conditions de notre dispositif expérimental pour un nombre de sites fructifères (Nsf) donné (WEBB, 1972; MEYNARD et DAVID, 1992). La distance à la droite Y = X correspond au taux d'abscission minimal observable, soit environ 47% de Nsf.

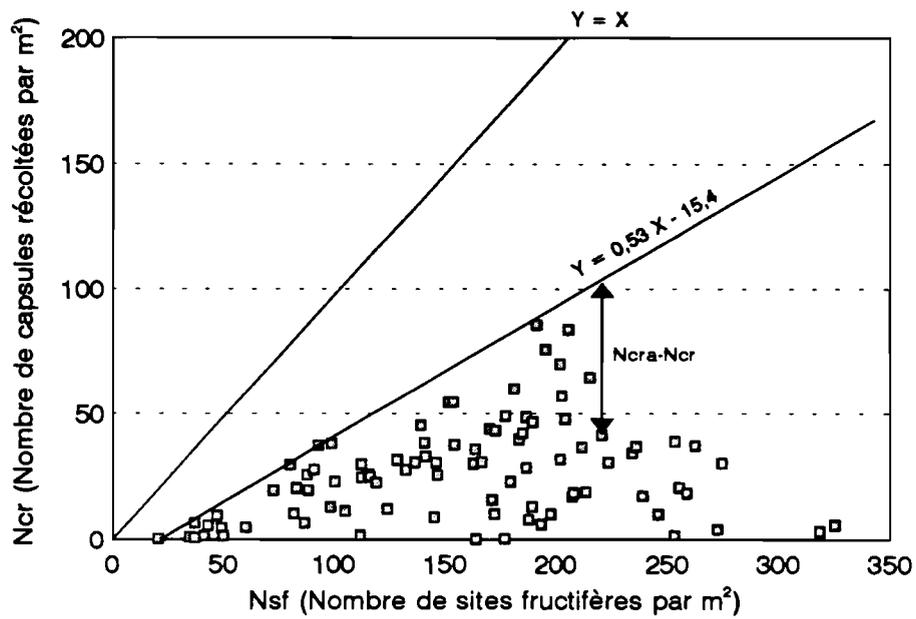
On avance ici l'hypothèse que cet écart entre les deux droites correspond à des organes fructifères perdus pour des raisons exclusivement physiologiques alors que l'écart entre Ncr et Ncra, pour une valeur de Nsf donnée, est d'origine parasitaire. Ceci conduit à introduire une variable de dommage DNcr = Ncra - Ncr que l'on cherchera à expliquer par les dégâts de ravageurs. L'ensemble des variables présentées ci-dessus sont enfin intégrées dans un modèle d'interaction plante-ravageurs (Annexe 5.5).

### 5.4.3 Analyse de l'effet des contraintes parasitaires sur le dommage

La littérature abondante concernant les phénomènes d'abscission sur le cotonnier rapporte que les dégâts de chenille ont un effet double sur les composantes du rendement (HEARN et DA ROZA, 1985; UNGAR *et al.*, 1987). Nt peut avoir des conséquences sur le dommage selon deux processus en fonction de l'aptitude de la plante à compenser une attaque parasitaire.

*A - Si la plante n'a pas la capacité de compenser les dégâts par la croissance végétative (en fin de cycle cultural, bilan hydrique défavorable, forte pression d'insectes piqueurs-suceurs, etc.). Une attaque de chenilles se limite à un effet direct sur la perte d'organes fructifères Nt. La seule possibilité de compensation du cotonnier est éventuellement de maintenir des organes fructifères, qui sinon seraient tombés physiologiquement (HEARN et ROOM, 1979).*

**Figure 5.14.** Variations du nombre de capsules récoltées par m<sup>2</sup> (Ncr) en fonction du nombre total de sites fructifères formés par m<sup>2</sup> (Nsf).



*B* - Lorsque la croissance végétative est encore possible après une attaque d'*H. armigera*, on observe une augmentation du nombre de sites fructifères et par voie de conséquence du nombre accessible de capsules (PEOPLES et MATTHEWS, 1981).

Ce phénomène est matérialisé sur la figure 5.15 par les deux nuages de points correspondant aux situations *A* et *B* présentées ci-dessus.

Le groupe *A* est caractérisé par une relation étroite entre le nombre de sites fructifères et le nombre d'organes fructifères troués par les chenilles. Cette relation est conforme aux résultats de la figure 5.13 selon lesquels le nombre d'organes abscissés est proportionnel au nombre d'organes abscissables, c'est à dire au nombre total de sites fructifères (*Nsf*).

Les cotonniers du groupe *B* présentent un nombre d'organes troués inférieur à ceux du groupe *A*, à nombre égal de sites fructifères. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette différence :

- soit les cotonniers de type *B* ont subi moins d'attaques de chenilles que ceux du groupe *A*,
- soit les cotonniers *B* ont compensé la perte d'organes fructifères troués par la formation de sites fructifères supplémentaires.

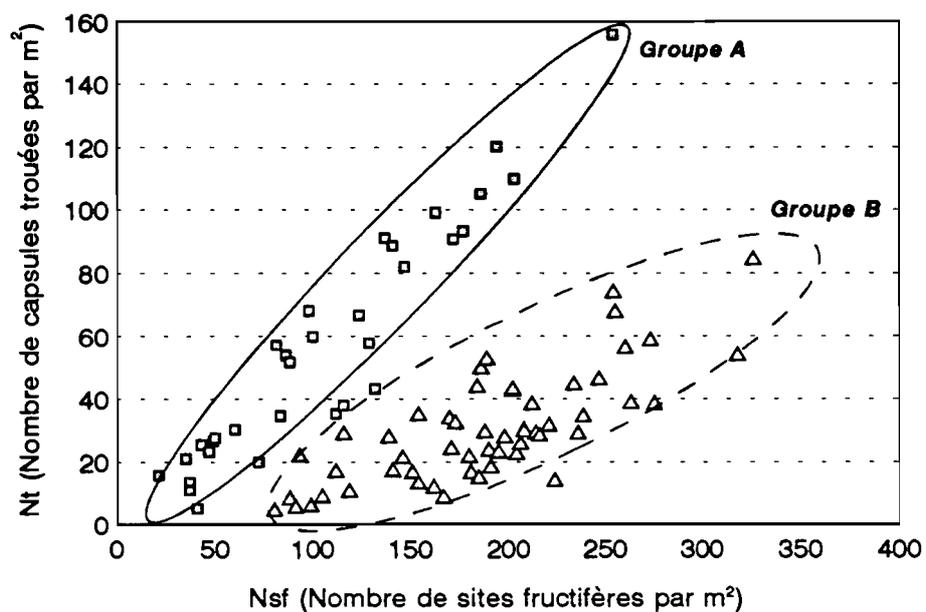
La comparaison des infestations de chenilles entre les parcelles des groupes *A* et *B* infirme la première hypothèse. Par contre, la seconde hypothèse est plus probable car les parcelles de type *B* correspondent à des dates de semis précoces, leur assurant un bilan hydrique favorable au phénomène de compensation, contrairement au cotonniers du groupe *A*, semés tardivement ( $\chi^2 = 50,4$  avec  $P < 0.0001$ ).

Nous allons étudier dans un premier temps l'effet des contraintes parasitaires sur les parcelles du groupe *A*.

### ■ Analyse des 47 parcelles du groupe *A*

L'analyse consiste tout d'abord à étudier le dommage (DNcr) en fonction des indicateurs de dégâts. La sélection des variables à intégrer au modèle est effectuée de proche en proche de façon ascendante. Nt est la première variable introduite en raison de son coefficient de corrélation élevé avec la variable finale DNcr ( $r = 0,85$  avec  $P < 0,0001$ ) (voir matrice des corrélations en annexe 5.6). L'étape suivante consiste à étudier les coefficients de corrélation partiels entre les variables DNcr, Nsf et Np pour Nt fixé. Le facteur le mieux corrélé à DNcr ('sachant' Nt) est alors sélectionné. Il s'agit de Np ( $r$  partiel [pour Nt fixé] entre DNcr et Np = 0,71 avec  $P < 0,0001$ ). Une régression multiple DNcr = f(Nt, Np) est ensuite effectuée afin de vérifier a posteriori que tous les paramètres sont significatifs. On réitère cette opération jusqu'à ce que toutes les variables dont la contribution est significative soient sélectionnées.

**Figure 5.15.** Variations du nombre total d'organes fructifères (bourgeons floraux + capsules) abscisés troués par des chenilles carphages par m<sup>2</sup> (Nt) en fonction du nombre total de sites fructifères formés par m<sup>2</sup> (Nsf).



La relation obtenue entre les dégâts et le dommage est alors représentée sous la forme:

$$\text{DNcr} = 0,63 \text{ Nt} + 0,64 \text{ Np} - 0,13 \text{ Nsf} - 8,78$$

( $R^2=0,90$ ;  $n=47$ ;  $P<0,0001$ )

avec tous les coefficients de régression significatifs ( $P<0,0001$ )

La même méthode de sélection des variables est ensuite appliquée successivement pour chacun des trois indicateurs de dégâts: Nt, Np, Nsf avec les niveaux de pression parasitaire: J1, J2, J3, Ch1, Ch2 et Ch3.

Les équations obtenues sont les suivantes:

$$\text{Nt} = 29,47 \text{ Ch2} + 4,43 \text{ J2} - 38,19$$

( $R^2=0,52$ ;  $n=47$ ;  $P<0,0001$ )

$$\text{Np} = 8,05 \text{ J3} - 9,62 \text{ J2} - 9,52 \text{ Ch3} + 48,36$$

( $R^2=0,37$ ;  $n=47$ ;  $P<0,0002$ )

$$\text{Nsf} = - 25,37 \text{ J1} + 29,98 \text{ Ch1} + 19,47 \text{ J3} - 12,15 \text{ J2} + 142,79$$

( $R^2=0,57$ ;  $n=47$ ;  $P<0,0001$ )

Tous les coefficients de régression significatifs à ( $P<0,05$ )

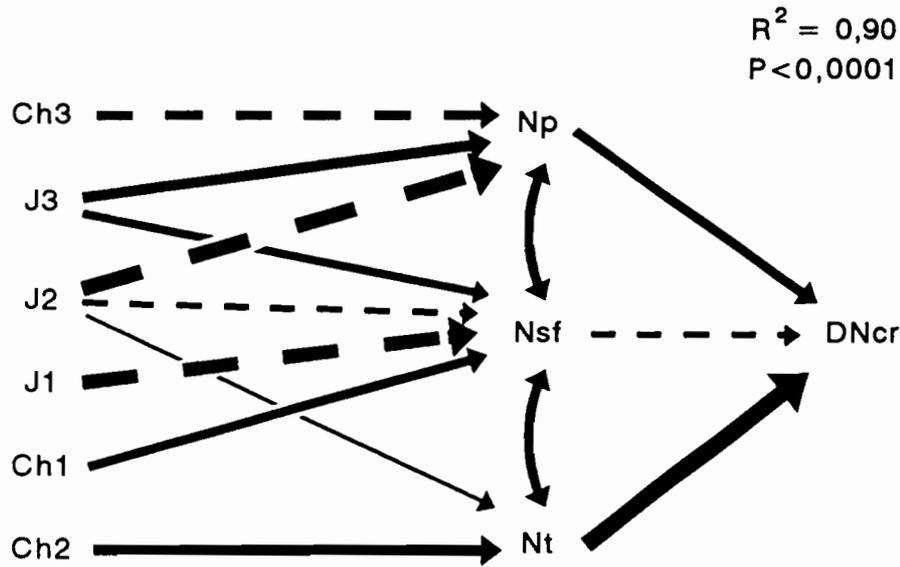
A partir de ces quatre régressions multiples, une analyse de coefficient de piste entre variables a été réalisée (SOKAL et ROHLF, 1981). Elle consiste à lier chaque élément en interaction par des coefficients de piste  $p[i-j]$  sans dimension. Ces derniers sont proportionnels à la contribution relative des variables explicatives à la variable expliquée. Chaque coefficient de corrélation peut alors être décomposé en un effet direct (le coefficient de piste  $p[i-j]$ ) et un effet indirect (coefficient de piste  $p[i-j]$  \* coefficient de corrélation  $r[i-j]$ ).

Les équations à résoudre pour aboutir aux résultats de la figure 5.16 et du tableau 5.3 sont présentées à droite du tableau 5.3.

La contribution relative au dommage DNcr des variables caractéristiques des dégâts: Nt, Np et Nsf souligne le rôle majeur de l'abscission parasitaire dans les pertes de récolte ( $p[\text{Nt-DNcr}] = 1,06$  et  $p[\text{Np-DNcr}] = 0,57$ ). Le développement végétatif, à l'origine de Nsf, participe pour une moindre part à la réduction de DNcr ( $p[\text{Nsf-DNcr}] = - 0,36$ ).

Nt est fortement lié aux attaques de chenilles en deuxième période (60 à 90 jours après semis). Par contre, Ch1 a un effet positif sur Nsf, répercuté négativement sur la variable finale. Ce résultat est conforme à la littérature selon laquelle les attaques

**Figure 5.16.** Schéma relationnel entre variables descriptives des interactions cotonnier-ravageurs selon la technique des coefficients de piste sur les individus du groupe A.



L'épaisseur des traits est proportionnelle à la valeur absolue des coefficients de piste.

Les relations entre variables sont matérialisées par une flèche continue ou en pointillés selon qu'elles sont positives ou négatives respectivement.

**Tableau 5.3.** Valeur des coefficients de piste  $p[i-j]$  entre variables 'ravageurs', 'dégâts' et 'dommage' (et leur degré de signification entre parenthèses) sur les individus du groupe A.

	Np	Nsf	Nt
DNcr	0,57 (0,000)	- 0,36 (0,000)	1,06 (0,000)
J1		- 0,87 (0,000)	
J2	- 0,96 (0,000)	- 0,40 (0,016)	0,23 (0,036)
J3	0,68 (0,000)	0,55 (0,001)	
Ch1		0,59 (0,000)	
Ch2			0,72 (0,000)
Ch3	- 0,54 (0,006)		

$$r[Nsf-DNcr] = p[Nsf-DNcr] + p[Nt-DNcr] * r[Nt-Nsf] + p[Np-DNcr] * r[Np-Nsf]$$

$$r[Nt-DNcr] = p[Nt-DNcr] + p[Nsf-DNcr] * r[Nt-Nsf] + p[Np-DNcr] * r[Nt-Np]$$

$$r[Np-DNcr] = p[Np-DNcr] + p[Nsf-DNcr] * r[Np-Nsf] + p[Nt-DNcr] * r[Np-Nt]$$

$$r[J3-Np] = p[J3-Np] + p[J2-Np] * r[J3-J2] + p[Ch1-Np] * r[J3-Ch1]$$

$$r[J2-Np] = p[J2-Np] + p[J3-Np] * r[J2-J3] + p[Ch1-Np] * r[J2-Ch1]$$

$$r[Ch1-Np] = p[Ch1-Np] + p[J3-Np] * r[Ch1-J3] + p[J2-Np] * r[Ch1-J2]$$

$$r[J1-Nsf] = p[J1-Nsf] + p[Ch1-Nsf] * r[J1-Ch1] + p[J3-Nsf] * r[J1-J3]$$

$$r[Ch1-Nsf] = p[Ch1-Nsf] + p[J1-Nsf] * r[Ch1-J1] + p[J3-Nsf] * r[Ch1-J3]$$

$$r[J3-Nsf] = p[J3-Nsf] + p[J1-Nsf] * r[J3-J1] + p[Ch1-Nsf] * r[J3-Ch1]$$

$$r[Ch2-Nt] = p[Ch2-Nt] + p[J2-Nt] * r[Ch2-J2]$$

$$r[J2-Nt] = p[J2-Nt] + p[Ch2-Nt] * r[J2-Ch2]$$

précoces de chenilles ne sont pas à l'origine de pertes de récolte. En effet, la perte des « puits » reproducteurs entraîne une réallocation des assimilats à la croissance végétative, qui compense l'abscission précoce par une augmentation du nombre de sites fructifères (UNGAR et al, 1989).

On observe par ailleurs un effet contrasté des jassides sur Nsf selon la période d'infestation. Le coefficient de piste  $p[J1-Nsf]$  est le plus élevé et de signe négatif, suggérant que les attaques de jassides sont les plus destructrices sur les jeunes plants. Cependant, la diminution du rôle de ce ravageur en seconde période et l'inversion de son effet par la suite (signe positif de  $p[J3-Nsf]$ ) résultent de phénomènes plus complexes. La valeur des coefficients de piste entre J1, J2, J3 et Nsf suggère un impact des infestations de jassides sur les dégâts, qui décroît avec le temps. Ce constat conduit à l'hypothèse que les dégâts déjà accumulés à une période donnée pourraient eux même agir sur les ravageurs aux stades suivants. Ainsi, la relation positive entre J3 et Nsf peut être interprétée comme une attraction des jassides par les cotonniers ayant subi le moins de dégâts aux périodes 1 et 2. Il en va de même pour le coefficient de piste négatif entre Ch3 et Np ( $p[Ch3-Np] = - 0,54$ ) qui peut être expliqué par une forte appétence des plants les moins attaqués aux périodes précédentes. La relation entre ces deux variables est forcément de nature indirecte car les chenilles carpophages ne sont pas responsables de l'abscission d'organes fructifères pourris ou piqués.

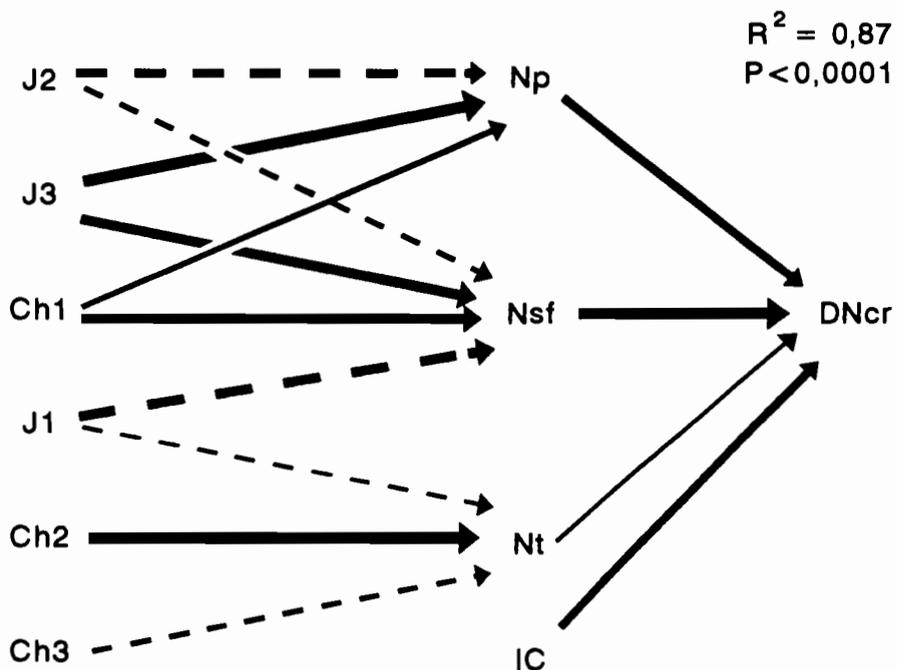
Ce diagramme suggère donc qu'en conditions de non compensation du cotonnier (groupe A), les dégâts parasites sont de deux types :

- le premier, lié à la production de sites fructifères (Nsf) repose principalement sur les attaques précoces de ravageurs. L'effet des chenilles, positif, est alors opposé à celui des jassides.
- durant la phase de fructification (2ème période) les chenilles agissent de façon privilégiée sur l'abscission (Nt): seconde forme de dégât.
- au stade de maturation (de 90 à 120 jours après semis), il semble que la pression d'insectes ravageurs soit liée aux niveaux de dégâts accumulés au cours des phases précédentes.

### ■ *Analyse sur l'ensemble du dispositif expérimental*

L'analyse de l'ensemble des données nécessite d'intégrer les phénomènes de compensation au modèle présenté ci-dessus. L'aptitude du cotonnier à induire une croissance végétative lorsqu'il est soumis à de forts niveaux d'abscission dépend de différentes variables: variété, bilan hydrique, stade de développement auquel le dégât intervient, pression d'insectes piqueurs-suceurs, par exemple.

**Figure 5.17.** Schéma relationnel entre variables descriptives des interactions cotonnier-ravageurs selon la technique des coefficients de piste, sur l'ensemble des données.



L'épaisseur des traits est proportionnelle à la valeur absolue des coefficients de piste.

Les relations entre variables sont matérialisées par une flèche continue ou en pointillés selon qu'elles sont positives ou négatives respectivement.

**Tableau 5.4.** Valeur des coefficients de piste entre variables 'ravageurs', 'dégâts' et 'dommage' et leur degré de signification (entre parenthèses), sur l'ensemble de la base de données.

	Np	Nsf	Nt	IC
DNcr	0,52 (0,000)	0,65 (0,000)	0,21 (0,000)	0,49 (0,000)
J1		-0,61 (0,000)	0,67 (0,02)	
J2	-0,49 (0,000)	-0,28 (0,02)		
J3	0,66 (0,000)	0,56 (0,000)		
Ch1	0,34 (0,000)	0,61 (0,000)		
Ch2			0,67 (0,000)	
Ch3			-0,28 (0,002)	

Un indice de compensation (IC) a été introduit afin de prendre en compte ce facteur d'interactions entre 'composantes des dégâts' Nt, Np et Nsf. Il s'agit de la date de semis exprimée en jour julien. En effet, le processus de compensation nécessite du temps et un bilan hydrique positif après une attaque d'insectes. La date de semis est un indicateur de la durée disponible jusqu'au mois de novembre, qui marque généralement la fin de la saison des pluies. Elle permet de situer le stade de développement où les dégâts sont observés par rapport au début du déficit hydrique, donc évaluer l'aptitude du cotonnier à prolonger la phase fructifère.

La démarche statistique présentée ci-dessus pour le groupe de parcelles de type A est alors appliquée à l'ensemble des données (A et B), soit 80 individus.

Les équations de régression multiples obtenues sont les suivantes :

$$\text{DNcr} = 0,29 \text{ Nsf} + 0,69 \text{ IC} + 0,43 \text{ Np} + 0,19 \text{ Nt} - 172,78$$

( $R^2=0,87$ ;  $n=80$ ;  $P<0,0001$ )

$$\text{Nt} = 24,64 \text{ Ch2} - 8,44 \text{ Ch3} - 4,03 \text{ J1} + 15,98$$

( $R^2=0,52$ ;  $n=80$ ;  $P<0,0001$ )

$$\text{Np} = 13,56 \text{ J3} - 9,35 \text{ J2} + 8,94 \text{ Ch1} + 12,33$$

( $R^2=0,36$ ;  $n=80$ ;  $P<0,0001$ )

$$\text{Nsf} = 20,89 \text{ J3} + 29,31 \text{ Ch1} - 22,02 \text{ J1} - 9,62 \text{ J2} + 14,71$$

( $R^2=0,55$ ;  $n=80$ ;  $P<0,0001$ )

Tous les coefficients de régression significatifs ( $P<0,01$ ). Les coefficients de pistes (Figure 5.17) sont indiqués dans le tableau 5.4.

La prise en compte du phénomène de compensation bouleverse donc les relations entre variables décrites dans la figure 5.16. Une augmentation du nombre de sites fructifères Nsf est liée à un accroissement du dommage subi par la culture; lui-même peut être considéré comme la résultante d'interactions :

- directes avec Nt: l'abscission par les chenilles carpophages ( $p[\text{DNcr-Nt}] = 0,21$ ),
- indirectes, par l'intermédiaire de l'effet positif du même Nt sur Nsf ( $p[\text{DNcr-Nt}] = p[\text{DNcr-Nsf}] * r[\text{Nsf-Nt}] = 0,18$ ).

Ces dégâts de même origine, mais de natures différentes, ont des conséquences du même ordre de grandeur sur les pertes de récolte. La contribution des capsules trouées (Nt) au dommage semble avoir diminué, tout comme le lien entre Nt et Nsf ( $r[\text{Nt-Nsf}] = 0,28$  contre 0,63 sur les individus du groupe A seulement). Ce phénomène pourrait être la conséquence de deux processus antagonistes: l'augmentation du nombre de sites fructifères accroît le nombre de bourgeons et capsules abscissées (figure 5.13 et flèche ① de la figure 5.18) comme dans le groupe A, mais dans ce cas, les organes fructifères perdus ont pour effet la formation de



nouveaux sites par la croissance végétative (flèche ② de la figure 5.18). IC contrôle l'amplitude de la réponse du cotonnier dans le sens ②. Cette variable est corrélée négativement avec Nsf, confirmant que l'aptitude à la compensation décroît lorsque l'implantation de la culture est retardée dans la saison.

Les interactions entre variables d'infestations parasites aux trois phases de développement du cotonnier et les dégâts sont comparables à celles décrites ci-dessus en condition de non compensation.

- Les attaques précoces de jassides ont un effet réducteur sur le nombre de sites fructifères formés qui est répercuté en terme d'abscission dans le sens ① (diminution de la probabilité de perte de capsule par la réduction de leur nombre).
- La tendance inverse est observée comme précédemment en condition de fortes attaques de chenilles ( $p[\text{Ch1-Nsf}] = 0,61$ ) avec des conséquences moindres sur Np (effet direct  $p[\text{Ch1-Np}] = 0,34 <$  indirect  $p[\text{Ch1-Np}] * r[\text{Nsf-Np}] = 0,45$ ). La relation est forcément indirecte entre ces deux variables car les chenilles ne sont pas responsables de ce type de dégâts.

La période de fructification est caractérisée par un effet positif des chenilles sur Nt et négatif des jassides sur Nsf. En fin de cycle, comme pour le groupe A, il semble que les dégâts accumulés jusque là aient tendance à inverser le sens des interactions. Le nombre d'organes fructifères tombés troués en phase 1 et 2 a un effet négatif sur les attaques de chenilles dont la ressource alimentaire est réduite. De même, les fortes infestations de jassides sont relevées sur les parcelles épargnées par les piqueurs-suceurs au stade végétatif, expliquant le signe positif de  $p[\text{J3-Nsf}] = 0,34$ . Ces attaques tardives ont cependant un effet direct sur l'abscission Np ( $p[\text{J3-Np}] = 0,66$ ) qui peut être répercuté indirectement sur Nsf ( $p[\text{J3-Np}] * r[\text{Np-Nsf}] = 0,49$ ).

#### ■ Hypothèses générales concernant les relations dégâts - dommage.

Les résultats obtenus permettent de décomposer le processus aboutissant au dommage en trois étapes successives, correspondant à trois phases de développement de la culture.

##### **Phase végétative (30-60 jours):**

Les attaques de chenilles carpophages sur les premiers bourgeons floraux ont un effet positif indirect sur la croissance, mais ne contribuent pas aux dégâts par les organes fructifères abscissés (pas de corrélation entre Ch1 et Nt). Il s'agit d'un phénomène de compensation possible dans tous les cas de figure car il intervient en début de cycle. Les jassides participent à la réduction du potentiel de production en altérant la croissance végétative, génératrice de sites fructifères.

**Phase fructifère (60-90 jours):**

A ce stade de développement, l'impact des attaques de jassides sur la croissance végétative est moindre, en raison de l'importante surface foliaire déjà formée. Cependant, leurs effets négatifs indirects sur le processus de fructification entraîne une diminution du nombre d'organes fructifères abscissables (sens ① de la figure 5.18). Le dommage lié aux attaques de chenilles carpophages peut être la conséquence de deux types de dégâts. Il est limité à une abscission parasitaire Nt dans le cas où l'on n'observe pas de phénomène de compensation (parcelles du groupe A). Dans le cas contraire, il est la résultante de deux processus antagonistes: Nt est à l'origine d'une augmentation du nombre de sites fructifères Nsf (sens ② de la figure 5.18) qui elle même peut induire, dans le sens ①, une abscission accrue.

**Phase de maturation (90-120 jours):**

Il semble qu'en fin de cycle les relations entre infestations parasites et dommage s'inversent. Les attaques les plus graves sont observées sur les parcelles les moins atteintes au cours des stades précédents de développement du cotonnier. Dans l'ensemble, les dégâts se produisant au cours de la phase de maturation ne se traduisent pas sur la récolte.

**5.4.4 Discussion****■ Le phénomène de compensation**

Les résultats obtenus montrent une réponse très différente du cotonnier, pour un niveau analogue d'infestation par les chenilles selon la date de semis; différence qui semble attribuable à un effet de compensation. Ce phénomène a été étudié par les physiologistes par ablation des organes fructifères à différents stades de développement (PEOPLES et MATTHEWS, 1981; UNGAR *et al.*, 1987). Un accroissement du processus de fructification a été montré, dont l'amplitude dépend du stade de développement auquel la perte des bourgeons floraux et/ou des capsules intervient. Ces auteurs soulignent les applications possibles de ce type de recherche dans la compréhension des interactions plante-ravageurs.

Cependant, les modèles de compensation proposés ne prennent pas en compte explicitement les populations d'insectes. HEARN et ROOM (1979) font référence à ces processus biologiques sans pour autant intégrer les ravageurs au système étudié. Les insectes sont considérés comme une contrainte extérieure. La démarche de recherche consiste à construire un modèle agrophysiologique décrivant le fonctionnement de la parcelle de cottonniers dans lequel ils introduisent la contrainte parasitaire a posteriori (Chapitre 2).

Ce type d'approche développée au Etats-Unis et en Australie a particulièrement influencé les recherches développées en Thaïlande dans ce domaine. En effet, les fonctionnaires du Département de l'agriculture ainsi que les universitaires thaïs, qui mènent la quasi totalité des travaux scientifiques sur la culture cotonnière, ont souvent été formés dans ces deux pays ou conseillés par leurs experts (EVENSON, 1987; GAILLARD, 1988). Mais ces pays pratiquent une récolte mécanisée qui impose une fructification groupée sur un intervalle de temps minimal. Ils ont donc privilégié des techniques de production qui limitent la durée de la phase reproductrice (régulateurs de croissance, défoliants, etc.). Finalement, peu de recherches ont été entreprises dans le contexte de production thaïlandais sur les phénomènes de compensation, à l'interface entre la physiologie de la plante et l'entomologie (DOA, 1984).

### ■ *Des contraintes phytosanitaires multiples*

Une autre raison du peu de références techniques dans ce domaine réside dans la complexité de l'entomofaune déprédatrice du cotonnier et des problèmes méthodologiques que posent son étude.

Il est tout d'abord particulièrement difficile, même en station de recherche, de contrôler les niveaux de pression parasitaires à l'aide d'insecticides. Souvent, les cotonniers les plus protégés ont été les plus attaqués en fin de cycle<sup>1</sup>. Il est donc impossible dans ces conditions d'évaluer l'impact de la contrainte parasitaire sur l'élaboration du rendement par référence à des situations indemnes d'attaques de ravageurs. En effet, une telle approche nécessiterait un contrôle rigoureux des populations d'insectes dans le cadre d'un dispositif expérimental formel (JOHNSON *et al.*, 1986).

En conditions paysannes, l'analyse d'une large gamme de situations parasitaires a été privilégiée afin de rendre compte des relations plante-ravageurs (TENG, 1987; CAMPBELL et MADDEN, 1990). Le système est décomposé en deux niveaux de variables explicatives: les infestations d'insectes et leurs effets sur les dégâts, liés par des régressions multiples à une variable à expliquer : le dommage. La mise au point de cet indicateur de perte de rendement, qui prend en compte le phénomène de compensation (§ 5.3.2.2), permet d'éviter de se référer à des traitements PP qui eux même ont subi des dégâts d'insectes.

L'originalité des résultats issus de l'analyse des coefficients de piste réside aussi dans la prise en compte des deux ravageurs: jassides et chenilles, comme éléments du système étudié. En effet, cette approche permet de décrire des relations entre insectes mais aussi les conséquences directes ou indirectes de dégâts de natures différentes sur le dommage.

---

<sup>1</sup> Nous avons vu que ces attaques tardives ont des conséquences limités sur le dommage. Cependant, les dégâts ne sont pas négligeables.

### ■ *Le pas de temps*

Le principal objectif du protocole de recherche décrit au § 5.2 est d'établir un référentiel technique pour un diagnostic sur des situations paysannes. Le niveau stratégique a donc été délibérément privilégié dans l'approche des relations ravageurs, dégâts, dommage. Le pas de temps de 30 jours, appliqué à trois phases de sensibilité du cotonnier aux dégâts de ravageurs, permet de confronter des profils parasitaires aux étapes successives du processus d'élaboration du rendement (FORRESTER et FITT, 1991).

Le découpage en stades de développement suppose des interactions homogènes tout au long d'une phase entre les ravageurs et les dégâts provoqués. Cette démarche autorise un diagnostic a posteriori sur 'l'histoire parasitaire' du cotonnier et ses conséquences sur le rendement. Elle est différente des modèles élaborés sur des pas de temps plus court (une journée généralement) comme outil de prise de décision tactique (HEARN et DA ROZA, 1985; HEARN, 1994).

### **5.4.5 Conclusion**

L'étude des dommages occasionnés par différents niveaux de dégâts d'insectes selon la période du cycle de développement du cotonnier nous conduit à **remettre en cause le bien fondé d'un seuil d'intervention rigide**, fondé sur des niveaux de population pour chaque ravageur (ZADOKS, 1985). Imposer un seuil d'intervention sur l'une des composantes du complexe parasitaire nécessiterait la connaissance préalable des populations des autres ravageurs et des niveaux de dégâts déjà accumulés.

L'analyse des interactions entre insectes sur l'élaboration du rendement a permis **d'identifier les attaques de ravageurs génératrices de pertes de récolte**. La mise au point de références techniques dans ce domaine doit conduire à limiter les traitements insecticides à ces seules attaques.

## 5.5 EFFICACITE DE LA PROTECTION INSECTICIDE SUR L'ENTOMOFAUNE ET LES DEGATS

### 5.5.1 Introduction

Chaque parcelle élémentaire du réseau expérimental décrit au paragraphe 5.2 est caractérisée par un complexe de ravageurs dont l'activité est modulée par deux principales pratiques culturales: la protection chimique et la date de semis. Toutes les autres opérations ont été identiques sur l'ensemble du dispositif (Annexe 5.1-a). Cependant, des différences notables ont été relevées sur les caractéristiques du milieu biophysique (sols, pluviométrie, etc.), qui induisent des réponses contrastées aux mêmes pratiques culturales selon le site géographique ou l'année.

Chaque parcelle de cotonnier peut donc être considérée comme une combinaison unique d'un ensemble de paramètres. L'un d'eux, la composition de l'entomofaune déprédatrice et l'évolution des populations d'insectes au cours d'un cycle cultural, qui varie d'un champ à l'autre, témoigne tout particulièrement de cette diversité (paragraphe 5.3).

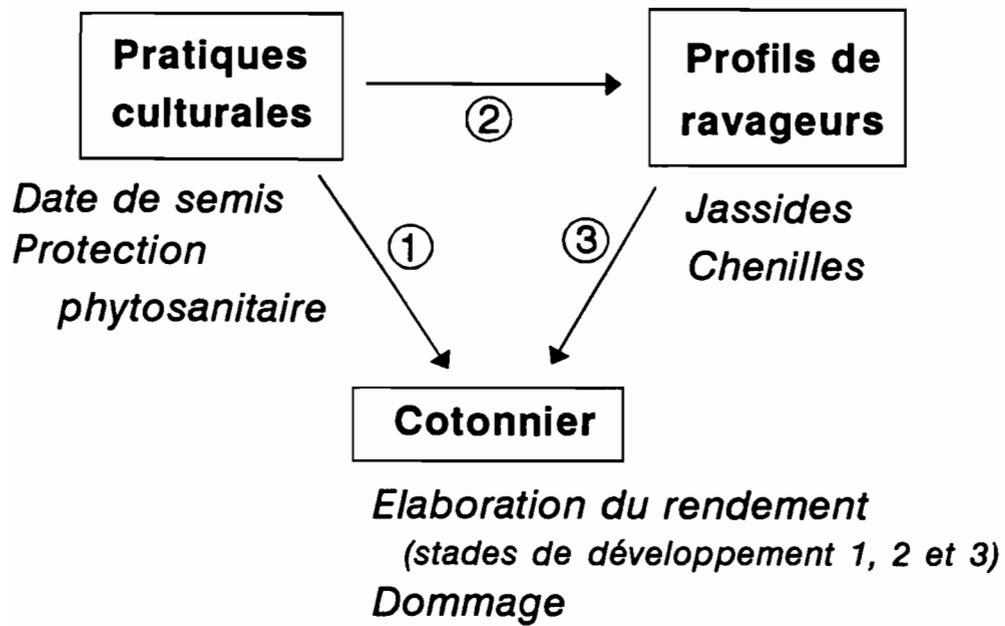
L'élaboration du rendement peut être décomposée en deux processus antagonistes (ZADOKS et SCHEIN, 1979).

- La croissance et le développement du cotonnier dans les conditions imposées par le milieu et modulées par les pratiques culturales, en l'absence de contrainte phytosanitaire, conduit à un rendement accessible (DE WIT et GOUDRIAAN, 1978).
- Mais les attaques de ravageurs ont un effet réducteur sur ce potentiel de production (paragraphe 5.4).

Dans cette troisième étape de l'analyse des contraintes phytosanitaires du cotonnier on intègre les pratiques de protection à l'étude des interactions plante-ravageurs. L'objectif est d'évaluer:

- l'effet de deux pratiques culturales: protection insecticide et date de semis, sur le rendement et le dommage d'origine parasitaire (flèche ① de la figure 5.19),
- l'impact des pratiques culturales sur les profils de ravageurs (flèche ②),
- les pertes de récoltes explicables par la contrainte phytosanitaire (flèche ③).

**Figure 5.19.** Approche des interactions 'pratiques culturales - profils parasites' sur l'élaboration du rendement du cotonnier.



### 5.5.2 Méthode d'analyse des données

Les données utilisées dans cette partie sont issues du dispositif expérimental décrit au paragraphe 5.2. Le nombre de parcelles élémentaires sélectionnées pour cette analyse a été réduit à 76 de façon à assurer l'homogénéité des données collectées sur les trois sites expérimentaux.

#### 5.5.2.1 Le codage des variables

Les variables utilisées sont décrites en annexe 5.7. Certaines d'entre elles ont déjà fait l'objet de transformations aux étapes précédentes du traitement des données (§ 5.2.5). Ces variables étant de nature différente: ordinale (niveau de protection phytosanitaire) ou cardinales (quantitatives: pour les autres variables), une catégorisation en un nombre limité de classes est effectuée pour les secondes afin de les rendre compatibles avec des données qualitatives (GRANGER, 1992; SAVARY *et al.*, 1994).

L'analyse des correspondances permet de considérer chaque classe comme une variable individuelle, ou comme une étape d'un itinéraire de classes successives représentant une variable quantitative initiale (SAVARY, 1991). Une autre raison pour effectuer cette transformation réside dans les distributions de fréquence très différentes d'une variable à l'autre. L'annexe 5.8 présente par exemple les histogrammes correspondant aux variables Ch1 et DOM. La distribution du dommage est pratiquement normale (au sens statistique du terme) alors que celle des attaques de chenilles est asymétrique. Beaucoup de parcelles ont été peu infestées en première phase mais un petit nombre a été très touché.

L'annexe 5.10 résume les choix effectués pour les limites de classes. Ils ont été guidés par le souci d'obtenir des effectifs équilibrés entre catégories (26, 25 et 25 parcelles pour les trois classes de Ch1). Le nombre réduit d'individus (76) a par ailleurs imposé de ne retenir qu'un faible nombre de groupes, 3 généralement afin de permettre une validation statistique des résultats par un test de  $\chi^2$ . La prise en compte de distributions très asymétriques a conduit pour les variables J3 et Ch3 à ne constituer que deux catégories.

#### 5.5.2.2 Etablissement de classes de profils de ravageurs

Nous avons vu au paragraphe 5.3 qu'il existe des relations entre les niveaux d'infestation des deux ravageurs étudiés (jasside et chenille) aux stades successifs de développement du cotonnier. Les effets sur le dommage des six variables J1, J2, J3, Ch1, Ch2 et Ch3, envisagées indépendamment les unes des

autres, ont été étudiés au paragraphe 5.4. Cependant, bien qu'aucune parcelle ne soit identique, il est possible d'établir des rapprochements entre certaines d'entre elles au vu de leur histoire parasitaire. Nous avons identifié des groupes de parcelles correspondant à des combinaisons privilégiées d'attaques d'insectes au cours du cycle cultural. Ces profils de ravageurs reflètent pour partie les variations des états du milieu mais résultent aussi des pratiques culturales.

Une classification ascendante hiérarchique a été utilisée pour établir un nombre limité de groupes, reflétant les associations entre les six variables caractéristiques des populations d'insectes. Les parcelles sont regroupées en fonction de leur degré de ressemblance selon une métrique de  $\chi^2$  (BENZECRI, 1973; SAPORTA, 1990). Le dendogramme qui en résulte permet de constituer quatre classes de profils parasitaires: CL1 à CL4 (Annexe 5.9). La nouvelle variable ainsi créée, caractérisée par ses quatre modalités est ensuite intégrée dans une analyse factorielle des correspondances.

### 5.5.2.3 Les tables de contingence et l'analyse des correspondances

Les relations entre trois groupes de variables: pratiques culturales (P et DS), profils parasitaires (CL) et rendement (RDT, NCR, DOM, BEN) sont étudiées grâce à une analyse factorielle des correspondances multiples (ACM) (BENZECRI, 1973; DERVIN, 1990). Cette méthode statistique peut être décomposée en deux étapes successives.

- La première consiste à construire un tableau de contingence, ici tableau de Burt, où les variables distribuées selon leurs modalités sont disposées en ligne et en colonnes (DERVIN, 1990). Les cellules, à l'intersection de deux modalités correspondent aux effectifs de parcelles présentant conjointement ces caractéristiques (Annexe 5.11). Ce tableau peut être utilisé pour effectuer des tests de  $\chi^2$  où l'hypothèse nulle est l'indépendance de la distribution des fréquences pour les variables considérées.
- Dans un second temps, une méthode multivariée permet d'analyser le tableau de contingence et de produire une représentation graphique des relations entre variables (BENZECRI, 1973, GREENACRE, 1984). Les dimensions du tableau sont réduites, de manière à obtenir un nombre restreint d'axes facilement interprétables. Comme dans une analyse en composantes principales, des valeurs propres et des vecteurs propres indépendants définissent ces axes. Ils sont caractérisés par les contributions relatives des variables à leur inertie (proportion de l'information, contenue dans le tableau de contingence, expliquée par cet axe). Les cosinus carrés (associés à chaque modalité des différentes variables pour chacun des axes) mesurent la qualité de la

représentation (projection) des modalités dans l'espace défini par les axes sélectionnés (LEBART *et al.*, 1982).

Les principales étapes du processus d'analyse présenté ci-dessus sont résumées sur la figure 5.20.

### 5.5.3 Résultats

#### 5.5.3.1 Les profils parasitaires

Quatre classes (CL1 à CL4) ont été établies à partir du dendrogramme issu de la classification ascendante hiérarchique. Les caractéristiques dominantes de chaque classe sont présentées ci-dessous. Elle correspondent à des tests de  $\chi^2$  significatifs pour chaque couple de variables (Tableau 5.5).

**CL1** (23 parcelles) est caractérisée par des niveaux d'infestation de jassides très faibles aux trois phases de développement du cotonnier. Les attaques de chenilles sont limitées en début de cycle mais fortes à la fin.

**CL2** (20 parcelles) correspond à des niveaux de populations de jassides moyens en seconde phase associés à de fortes attaques de chenilles aux deux premières périodes.

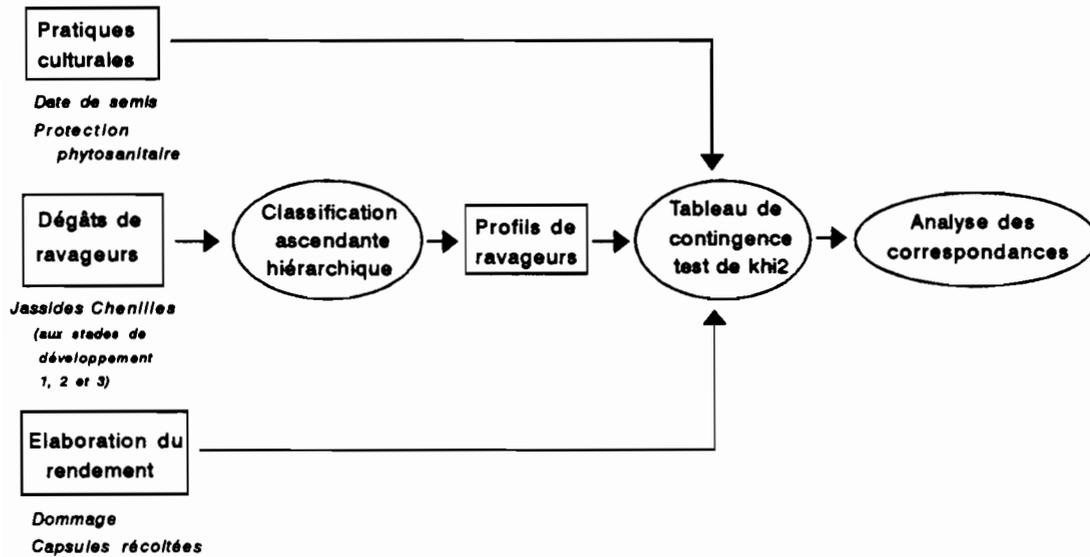
**CL3** (19 parcelles) est représentée par des cotonniers très attaqués par les jassides tout au long du cycle cultural mais très peu touchés par les chenilles.

**CL4** (14 parcelles) est constituée de parcelles moyennement infestées par les jassides et les chenilles en première phase de développement. Le reste du cycle est caractérisé par des niveaux de population variables pour ces deux ravageurs.

#### 5.5.3.2 Les tableaux de contingence

Le tableau de Burt consiste en une distribution des parcelles élémentaires selon les modalités des différentes variables (Annexe 5.11). A gauche de la diagonale sont présentées les valeurs de  $\chi^2$  pour chaque couple de variable. Les cases grisées correspondent au rejet de l'hypothèse  $H_0$  d'indépendance entre les variables, avec une probabilité d'erreur  $P < 0.05$ . Une analyse visuelle de la répartition des effectifs dans les classes de profils parasitaires en fonction des pratiques culturales ou des rendements permet souvent de tester les interprétations graphiques à l'issue de l'ACM.

**Figure 5.20.** Etapes successives du processus d'analyse multivarié sur les relations entre pratiques culturales, dégâts de ravageurs et élaboration du rendement.



**Tableau 5.5.** Description des classes de profils de ravageurs (CL) issues de la classification ascendante hiérarchique.

Variables <sup>a</sup>	CL1	CL2	CL3	CL4	$\chi^2_c$ <sup>b</sup>	$P(\chi^2 > \chi^2_c)^*$
J1	faible	~	fort	moyen	91.5	0
J2	faible	moyen	fort	~	60.2	0
J3	faible	~	~	~	16.0	0.001
CH1	faible	fort	~	fort	73.5	0
CH2	~	fort	moy.-faible	~	26.1	0
CH3	fort	~	faible	~	33.0	0

<sup>a</sup> Variables utilisées lors de la classification des profils parasites : elles sont représentées par leur modalité prédominante dans chaque profil.

<sup>b</sup>  $\chi^2_c$  : valeur du khi-2 calculé pour chaque tableau de contingence Variable x Profil.

\*  $P(\chi^2 > \chi^2_c)$  (probabilité pour que  $\chi^2$  soit supérieur au  $\chi^2$  calculé) : risque d'erreur si l'on conclut à la dépendance entre variable et profil.

~ : variable.

### 5.5.3.3 L'analyse factorielle des correspondances multiples

#### ■ *Interprétation des axes*

Les deux premiers axes issus de l'analyse des correspondances rendent compte respectivement de 49 et 15% de l'inertie totale (Tableau 5.6). Les axes suivants contribuent à hauteur de 8%, 7% et 5% à cette inertie. Le plan formé par les deux premiers axes suffit donc pour interpréter une large part (64%) de l'information contenue dans le tableau de contingence (Annexe 5.11).

L'axe 1 a les caractéristiques suivantes:

- Il représente un gradient de rendements croissants, opposant des situations extrêmes. RDT1 (avec un signe négatif) et RDT3 (positif) ont les plus fortes contributions à cet axe. C'est l'inverse pour le dommage, DOM3 (négatif) est opposé aux deux autres niveaux de signes positifs.
- La même tendance est observée entre des semis tardifs DS3 opposés à des semis précoces DS1. C'est aussi le cas de la protection phytosanitaire: on observe un gradient croissant de P1 non protégé (négatif) jusqu'à P4 (positif) correspondant à une couverture insecticide maximale (traitement PP).
- Enfin, l'axe 1 oppose le profil de ravageurs CL3 (négatif) aux autres modalités de la variable CL.

L'axe 2 peut être décrit comme suit:

- Il oppose des rendements moyens RDT2 et NCR2 à des rendements forts RDT3 et NCR3 (positifs) comme indiqué par leur contribution à cet axe. Il en va de même pour des dommages moyens DOM2 opposés à des DOM1.
- DS2 contribue fortement à cet axe avec une valeur négative. Ainsi les dates de semis moyennes se différencient des dates précoces ou tardives de signe positif. La contribution des modalités de protection insecticide est particulièrement faible sur cet axe.
- Par ailleurs, l'axe 2 rend compte de contrastes entre les profils de ravageurs de type CL2 et CL4.

L'analyse des cosinus carrés sur les axes 1 et 2 permet d'évaluer la qualité de la projection de chaque classe des différentes variables sur le plan formé par ces deux axes. Les variables correspondant aux rendements (RDT, NCR, DOM) et aux dates de semis (DS) sont bien représentées dans ce plan: la somme des

**Tableau 5.6.** Analyse des correspondances: qualité de la représentation des variables sur les deux premiers axes et contribution relative aux axes.

Modalités	Effectifs	Coordonnées		Contributions relatives		Cosinus carrés	
		Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2
<b>Profil de ravageurs</b>							
CL1	23	0.55	-0.07	2.7	0.1	0.336	0.003
CL2	20	0.06	-0.52	0.0	3.9	0.004	0.158
CL3	19	-0.94	0.26	6.5	1.0	0.609	0.026
CL4	14	0.29	0.50	0.4	2.5	0.058	0.095
<b>Protection phytosanitaire</b>							
P1	19	-0.87	-0.28	5.7	1.1	0.533	0.030
P2	12	-0.49	0.32	1.1	0.9	0.132	0.031
P3	22	0.33	-0.09	1.0	0.1	0.132	0.005
P4	23	0.66	0.15	3.9	0.4	0.438	0.012
<b>Date de semis</b>							
DS1	23	0.81	0.46	5.9	3.6	0.576	0.102
DS2	26	0.25	-0.67	0.6	8.6	0.087	0.340
DS3	27	-0.93	0.25	9.2	1.2	0.753	0.030
<b>Rendement</b>							
RDT1	27	-1.17	0.41	14.4	3.3	0.906	0.060
RDT2	24	0.26	-0.94	0.6	15.2	0.082	0.560
RDT3	25	1.01	0.46	9.9	3.8	0.765	0.085
<b>Nombre de capsules récoltées</b>							
NCR1	31	-1.07	0.20	13.9	0.9	0.942	0.017
NCR2	25	0.49	-1.02	2.4	18.7	0.248	0.567
NCR3	20	1.04	0.97	8.5	13.5	0.620	0.288
<b>Domage</b>							
DOM1	28	0.53	0.75	3.0	11.4	0.357	0.389
DOM2	28	0.26	-0.69	0.7	9.6	0.100	0.388
DOM3	20	-1.10	-0.08	9.4	0.1	0.737	0.002

cosinus carrés des différentes modalités sur les deux premiers axes est particulièrement élevée (0.64 à 0.97 pour RDT, 0.81 à 0.96 pour NCR, 0.49 à 0.75 pour DOM et 0.42 à 0.78 pour DS). De plus, les profils de ravageurs sont bien séparés dans le plan 1-2 même si les classes CL1, CL2 et CL4 sont moins bien représentées que CL3.

En outre, l'axe 1 est un bon descripteur de la protection phytosanitaire. Les niveaux extrêmes P1 et P4 sont bien représentés et la projection des valeurs intermédiaires P2 et P3 rend compte d'un gradient croissant de couverture insecticide sur cet axe.

L'ensemble des classes de variables est projeté sur le plan défini par les axes 1 et 2 (figure 5.21-a). Pour faciliter l'interprétation, les trois groupes de variables ont été dissociés et représentés sur des figures distinctes. Le rendement est décrit figure 5.21-b, les pratiques culturales figure 5.21-c et les profils de ravageurs figure 5.21-d.

#### ■ *Effet des pratiques culturales sur le rendement et le dommage d'origine parasitaire*

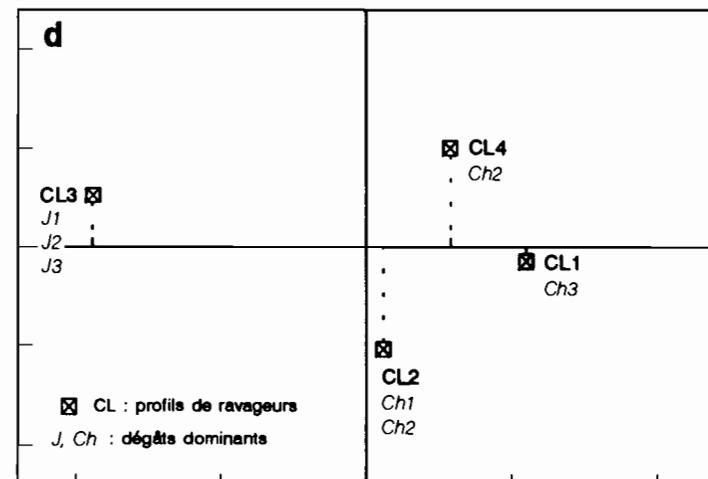
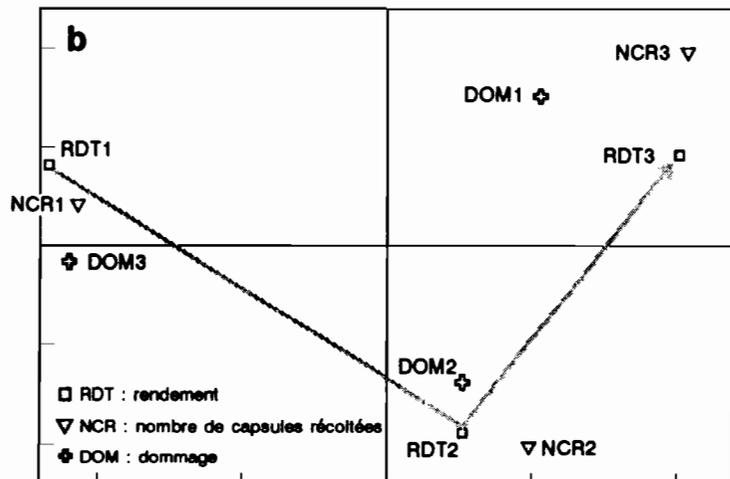
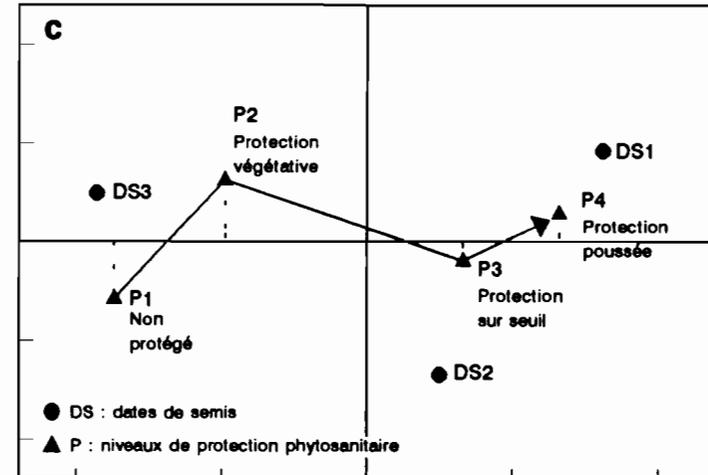
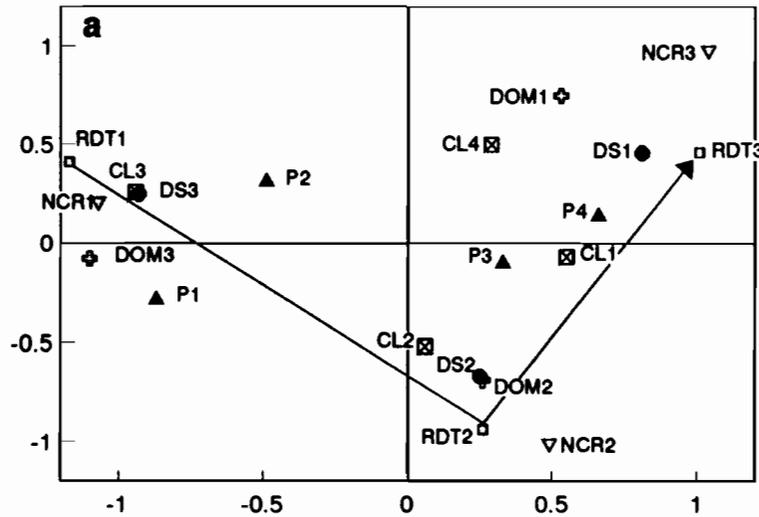
Les itinéraires représentant les accroissements du rendement et du dommage relatif sont en étroite correspondance, dans des sens opposés. Le même type de relation est observé entre les trois modalités de dates de semis. La forme en V des gradients pour ces deux groupes de variables peut faire penser à un 'effet Guttman', caractéristique de classes à faibles effectifs (DERVIN, 1990). Mais dans le cas décrit ici, la forme des itinéraires entre modalités d'une même variable doit être plutôt interprétée comme une relation très forte entre ces variables.

Il semble donc que la date de semis agisse parallèlement sur le rendement accessible (Chapitre 2) et le dommage d'origine parasitaire. Le gradient croissant de protection phytosanitaire, incorporé par l'axe 1, est lié à une diminution du dommage; ce dont témoigne l'opposition entre DOM1 et DOM3 sur cet axe. Finalement, la précocité du semis (évolution de la date de semis de la classe DS3 à DS1) associée à l'intensification de la protection insecticide (de P1 vers P4) conduisent à des rendements croissants.

#### ■ *Effet des pratiques culturales sur les profils de ravageurs*

Les profils de ravageurs sont à l'interface entre les pratiques culturales et leurs conséquences sur le matériel végétal en terme de dommage. L'analyse de cette variable intermédiaire est susceptible d'apporter des éléments de réponse concernant la nature des interactions entre la date de semis et la protection phytosanitaire sur l'élaboration du rendement.

**Figure 5.21.** Représentation graphique dans le plan 1-2 des résultats de l'analyse factorielle des correspondances multiples entre les trois groupes de variable: pratiques culturales (P, DS), profils de ravageurs (CL) et rendement (RDT, NCR, DOM). Le graphe (a) présente toutes les modalités de l'ensemble des variables introduites dans l'analyse. Il est ensuite décomposé par groupe de variables (b) rendement, (c) pratiques culturales et (d) profils de ravageurs.



La classe CL3 est nettement opposée aux autres modalités de cette variable sur l'axe 1. Elle regroupe des parcelles présentant de fortes infestations de jassides mais peu d'attaques de chenilles. Dans le plan 1-2, CL3 est située à proximité de DS3 mais aussi de P1 et P2. Des dates de semis tardives en conditions de non protection de la culture sont donc à l'origine de ce type de profil.

Les classes CL1, CL2 et CL4 sont caractérisées par des populations de jassides nettement plus faibles et des attaques de chenilles variables. L'axe 1 les oppose à la classe CL3 de même qu'il sépare les dates de semis tardives DS3 et les situations peu protégées P1 et P2 aux autres modalités de ces mêmes variables. Il semble donc que le 'problème jasside' soit rapidement estompé par des traitements insecticides croissants. Par ailleurs, cette contrainte est peut être moins importante en début de saison (mai - juin).

L'axe 2 sépare des classes pour lesquelles les chenilles deviennent la contrainte majeure. Ces classes étant relativement mal représentées dans le plan 1-2, l'interprétation nécessite des précautions particulières. L'analyse des tableaux de contingence (CL x P) et (CL x DS), extraits du tableau de Burt (Annexe 5.11), vient compléter l'étude graphique. La classe 1, caractérisée par de faibles attaques de chenilles en début de cycle et forte à la fin, correspond à des dates de semis précoces et une protection maximale. Les profils de ravageurs CL2 et CL4 diffèrent principalement par des infestations de chenilles beaucoup plus fortes en milieu de cycle pour CL2. Sur l'axe 2, cette classe est plutôt associée à DS2 alors que CL4 est proche de DS1.

#### ■ *Effet des profils de ravageurs sur le rendement et le dommage*

L'axe 1 oppose CL3 de signe négatif, associé à des rendements faibles (RDT1, NCR1) et dommages élevés (DOM3), à CL1 (positif) lié à des rendements forts (RDT3, NCR3) et des pertes de récolte moyennes à faibles.

Sur l'axe 2, CL2 est associé à des rendements et des dommages moyens, CL4 à des rendements moyens mais des dommages faibles. L'itinéraire CL3, CL2, CL4 et CL1 correspond en projection sur l'axe 1 à un gradient de rendements croissants.

#### **5.5.4 Discussion**

La relation entre les pratiques culturales et le rendement peut être décomposée selon deux processus complémentaires. En effet, on peut formuler l'hypothèse que la date de semis influence le potentiel de production de la culture. Le rendement accessible en l'absence de dégâts de ravageurs est en partie déterminé par le bilan hydrique, la température, le rayonnement intercepté, etc., variables liées à la date de semis (HUXLEY, 1964; CONSTABLE *et al.*, 1976;

SHIROMA et CHUNKAO, 1980; HEARN et CONSTABLE, 1984; TURNER *et al.*, 1986). Par ailleurs, la date de semis joue un rôle déterminant sur les dynamiques de populations d'insectes ravageurs (REED, 1964; MICINSKI *et al.*, 1993; SLOSSER, 1993). L'analyse des profils parasitaires, variables intermédiaires entre pratiques culturales et dommage, permet d'évaluer la part relative de ces deux phénomènes sur le rendement.

Les jassides apparaissent comme une contrainte majeure en l'absence de protection phytosanitaire. La classe CL3 correspond à des parcelles particulièrement infestées par ce ravageur mais aussi aux rendements les plus faibles. L'existence de ce type de profil parasitaire est liée aux interactions entre ravageurs par l'intermédiaire des dégâts causés au matériel végétal (§ 5.3). Les plants très attaqués par les jassides, rabougris, sont peu appétents pour les chenilles (DORAS, 1992). Il semble que la protection phytosanitaire, lorsqu'elle parvient à réduire les populations de jassides, conduise à l'émergence de la 'contrainte chenille'. L'itinéraire CL3, CL2, CL4 et CL1, qui correspond à une diminution des infestations de jassides (Tableau 5.5), est associé à des niveaux de protection croissants (P1 à P4) en projection sur l'axe 1. En outre, l'association des dates de semis tardives (DS3) au profil de ravageur CL3 peut être expliquée pour partie par l'augmentation tendancielle des populations de jassides en cours de saison culturale décrite au paragraphe 5.3.

Les profils CL2, CL4 et CL1 sont distribués sur un gradient de dommages décroissants. Sur la partie positive de l'axe 1 (la zone droite du plan 1-2, figure 5.21-c), les chenilles constituent la contrainte phytosanitaire majeure. En effet, CL2 est caractérisée par de fortes attaques en première et seconde phase, CL4 par des infestations moyennes sur ces deux intervalles de temps alors que CL1 subit des attaques de chenilles en fin de cycle seulement. Or, nous avons vu au paragraphe 5.4 que les cotonniers sont particulièrement sensibles à cet insecte en phase de fructification (phase 2). Les populations de chenilles d'*H. armigera* occasionnent peu de dégâts au stade de maturation (phase 3). L'itinéraire de ces trois profils de ravageurs est en correspondance avec une protection phytosanitaire et un rendement croissants, en projection sur l'axe 1.

Pour les chenilles comme pour les jassides, il semble qu'une date de semis précoce joue un rôle favorable sur le dommage d'origine parasitaire. On constate que la différence induite par un retard de la date de semis (de DS1 à DS2) sur le profil parasitaire réside principalement dans le niveau d'infestation de chenilles au stade fructification (CL2 par rapport à CL4). Ce résultat est conforme aux observations réalisées sur les dynamiques de population d'insectes (§ 5.3).

Finalement, il semble que l'amplitude du dommage soit très fortement liée aux niveaux de rendement. Mais il convient d'interpréter avec précaution la relation étroite entre les itinéraires de ces deux variables. En effet, on ne dispose pas de parcelle de référence indemne d'attaques de ravageurs pour affiner cette analyse.

D'où l'intérêt d'utiliser la variable intermédiaire 'profils de ravageurs', et d'interpréter ses relations avec le dommage à la lumière des résultats obtenus au paragraphe 5.4.

## 5.6 CONCLUSION

### Sur la méthode

La démarche expérimentale présentée ici s'est attachée à caractériser un certain nombre d'interactions au sein du complexe 'cotonnier - jasside - chenille'.

- Dans un premier temps les interactions entre ravageurs sont abordées en terme de risque (§ 5.3). Cette approche facilite un diagnostic ultérieur sur la perception par les agriculteurs de la contrainte parasitaire (ELDIN et MILLEVILLE, 1989). La dimension temporelle reste présente car elle apporte des informations essentielles sur les dynamiques d'évolution des principaux ravageurs. Mais les courbes d'infestations sont intégrées dans une analyse fréquentielle afin de réduire le 'bruit de fond' lié à la grande variabilité des populations.
- L'analyse de l'effet de la contrainte parasitaire sur le processus d'élaboration du rendement nous a conduit à augmenter le pas de temps. La compréhension des modes de formation du dommage impose cependant de conserver une approche dynamique. Les trois phases successives de développement du cotonnier (croissance végétative, fructification et maturation) correspondent en effet à des périodes de sensibilité différentes aux deux ravageurs. Le pas de temps envisagé correspond bien, par ailleurs, à celui sur lequel raisonnent les agriculteurs pour le choix des opérations techniques (CASTELLA *et al.*, 1992; CASTELLA, 1993). Dans cette étape de l'analyse (§ 5.4), le dommage est abordé comme une surface de réponse à des dégâts de natures différentes appliqués selon des intensités variables. Les traitements contrastés affectés aux parcelles expérimentales (protection insecticide et dates de semis) sont destinés à créer de la diversité dans les combinaisons plantes - ravageurs. Nous avons rendu compte de celle-ci par des équations de régression multiple liant la variable expliquée (le dommage), aux variables explicatives (attaques d'insectes et dégâts).
- Dans un troisième niveau d'analyse, l'information est encore condensée: toutes les données sont transformées en variables qualitatives (§ 5.5). La dimension temporelle n'apparaît plus explicitement, mais elle est intégrée dans la classification des profils de ravageurs. En effet, chaque classe ainsi identifiée correspond à des combinaisons privilégiées de dégâts d'insectes aux trois phases successives de développement du cotonnier. Les pratiques culturales:

date de semis et protection phytosanitaires sont intégrées comme variables explicatives du rendement et du dommage au même titre que les profils parasitaires. Finalement, l'analyse factorielle des correspondances donne une représentation facilement interprétable des relations complexes entre ces trois groupes de variables (BENZECRI, 1973; DERVIN, 1990).

L'ensemble de la démarche d'analyse a consisté à condenser progressivement l'information disponible sur le système plante-ravageurs afin "*d'isoler le bruit de fond, généré par les processus de fréquence réduite, du vacarme engendré par tous les processus de plus grande fréquence*" (ALLEN, 1987).

### Sur les résultats

Nous revenons à présent à l'objectif premier du dispositif expérimental, à savoir: évaluer l'efficacité de la protection chimique sur l'entomofaune et les dégâts. La présentation des résultats vise à relier progressivement des éléments du système 'parcelle de cotonniers' de plus en plus éloignés entre eux.

- Ravageur → dégâts

Cette première relation a été abordée grâce à l'étude des dégâts associés aux jassides et chenilles considérées indépendamment les unes des autres (§ 5.3).

Nous avons montré que la présence d'insectes peut conduire à des dégâts de nature différente selon le stade de développement du cotonnier auquel ils interviennent. Une attaque de chenille en première phase provoque la perte de quelques organes fructifères mais aussi une croissance végétative accrue. En période de maturation un même niveau d'infestation ne serait responsable que de l'abscission.

- Dégâts → dommage

Les dégâts n'aboutissent pas systématiquement à un dommage :

Une attaque de jassides en début de cycle affecte beaucoup plus le potentiel de production qu'en fin de saison, bien que la quantité d'assimilats prélevés par les insectes sur les feuilles soit équivalente. Mais la masse de végétation est bien différente, et par voie de conséquence la sensibilité de la plante à ce ravageur.

De même, grâce au phénomène de compensation, les dégâts de chenilles aux stades précoces de développement augmentent le potentiel de production plus qu'ils ne l'affectent.

- Profil de ravageurs → dommage

Nous avons souligné au paragraphe 5.3 l'existence de fortes interactions entre jassides et chenilles par l'intermédiaire des dégâts occasionnés au matériel végétal. On observe des combinaisons privilégiées d'infestations des deux insectes, qui permettent de regrouper des parcelles dont l'histoire parasitaire est similaire (§ 5.5). L'analyse des correspondances caractérise des relations entre quatre profils de ravageurs et des dommages. Il s'avère que les situations à forte contrainte jasside conduisent à des pertes de récoltes particulièrement élevées. Mais le 'problème chenille' se pose dès lors que les jassides sont contrôlées. Les attaques d'*H. armigera* entre 60 et 90 jours après le semis conduisent aux dommages les plus importants (§ 5.4).

- Protection insecticide → ravageurs

Les parcelles les plus traitées aux insecticides sont aussi les plus attaquées par les chenilles (§ 5.3). Ce résultat peut être interprété comme la combinaison de deux phénomènes :

Les plants les mieux protégés sont aussi les plus attractifs pour les ravageurs.

Les traitements phytosanitaires successifs, éliminent les insectes auxiliaires et augmentent la proportion d'individus résistants dans les populations de ravageurs. Les infestations deviennent de plus en plus difficiles à contrôler.

Par contre, les attaques de jassides sont facilement contrôlées par les traitements insecticides.

- Protection insecticide → rendement

Des rendements croissants sont associés à une couverture insecticide intensifiée (§ 5.5).

- Protection insecticide + date de semis → dommage + rendement

Les deux points précédents mènent à la conclusion que la protection insecticide maximise à la fois les attaques de chenilles et le rendement.

Le dommage est limité, grâce au phénomène de compensation physiologique du cotonnier (§ 5.4), mais les dégâts de chenilles sont importants.

La date de semis joue un rôle essentiel à l'interface entre la protection phytosanitaire et le rendement. Elle module l'efficacité des traitements insecticides en jouant sur trois registres différents au sein du système plante - ravageurs.

Elle détermine un potentiel de rendement en calant le cycle cultural par rapport à un ensemble de facteurs biophysiques: température, rayonnement solaire, bilan

hydrique, etc. (HUXLEY, 1964; CONSTABLE *et al.*, 1976; SHIROMA et CHUNKAO, 1980; HEARN et CONSTABLE, 1984; TURNER *et al.*, 1986).

Elle positionne aussi le cycle cultural (et donc les périodes de sensibilité de la plante aux ravageurs) par rapport aux dynamiques de populations d'insectes. En effet, on observe une augmentation tendancielle des effectifs à chaque génération de ravageurs (§ 5.3). Les attaques précoces sont d'autant plus fortes que le semis est retardé dans la saison (REED, 1964; MICINSKI *et al.*, 1993; SLOSSER, 1993).

Elle module le processus de compensation du cotonnier, en contrôlant le bilan hydrique.

Finalement, cette approche expérimentale nous a permis de caractériser différents types de dégâts parasitaires, et d'identifier les attaques de ravageurs qui conduisent à un dommage. Les résultats obtenus montrent qu'à l'échelle de la parcelle, un semis précoce et des traitements insecticides intensifs parviennent à limiter la contrainte phytosanitaire et à optimiser le rendement. Les pratiques de protection de la culture à forte utilisation d'insecticides tendent à se justifier.

**Gestion de la  
contrainte  
phytosanitaire  
dans le cadre du  
système de  
culture**

**6**

<b>6. LES SYSTEMES DE CULTURE COTONNIERS</b>	<b>167</b>
<b>6.1 Introduction</b>	<b>167</b>
<b>6.2 Méthode</b>	<b>167</b>
<b>6.3 Diversité des pratiques paysannes en culture cotonnière</b>	<b>168</b>
6.3.1 Le précédent cultural et la préparation du sol	168
6.3.2 Le choix variétal	172
6.3.3 Le semis	175
6.3.4 La densité de peuplement	182
6.3.5 Le contrôle des adventices	184
6.3.6 La fertilisation	188
6.3.7 La protection insecticide	191
6.3.8 La récolte	199
6.3.9 Conclusion	200
<b>6.4 Impact des stratégies de protection paysannes sur les dégâts d'insectes et le rendement</b>	<b>202</b>
6.4.1 Introduction	202
6.4.2 Méthode	202
6.4.3 Résultats	206
6.4.4 Discussion	220
<b>6.5 Compréhension des systèmes de culture cotonniers par le fonctionnement des systèmes de production</b>	<b>223</b>
6.5.1 Introduction	223
6.5.2 Méthode	224
6.5.3 Typologie des systèmes de production cotonniers	225
6.5.4 Place de la culture cotonnière dans les systèmes de production	227
6.5.5 Systèmes de production et gestion du risque phytosanitaire	233
<b>6.6 Conclusions</b>	<b>235</b>
Le cadre de contrainte agroécologique	237
Intégrer les contraintes agroécologiques dans le contexte socio-économique du système de production	237

## 6. GESTION DE LA CONTRAINTE PHYTOSANITAIRE DANS LE CADRE DU SYSTEME DE CULTURE

---

### 6.1 INTRODUCTION

Abordés à l'échelle régionale, il s'avère que les problèmes parasites sont la conséquence de l'utilisation intensive d'insecticides (Chapitre 4). Mais à l'inverse, les niveaux des populations de ravageurs atteints actuellement imposent des pratiques peu respectueuses de l'environnement afin de limiter les pertes de récolte (Chapitre 5). La lutte chimique est aujourd'hui dans une impasse. Elle est à la fois la cause et la conséquence de la crise de la culture cotonnière. Les agriculteurs sont pris dans un cercle vicieux d'augmentation de la consommation d'intrants qui tend à éroder la compétitivité de la culture jusqu'à son abandon pur et simple.

Dans un tel contexte, la question est posée de savoir s'il existe des moyens de gestion de la contrainte phytosanitaire autres que le recours systématique aux insecticides.

Le système de culture est le niveau privilégié où s'exercent les pratiques incriminées pour leurs effets néfastes sur les équilibres écologiques mais ce n'est pas forcément à cette échelle que le problème peut être résolu. C'est pourquoi il convient de caractériser les itinéraires techniques actuels, de comprendre leur logique, afin de proposer des solutions alternatives établies dans le cadre de la lutte intégrée, à l'échelle de l'agroécosystème. Celles-ci auront d'autant plus de chance d'être adoptées que la démarche de diagnostic se sera attachée à appréhender la diversité des pratiques culturales, à *savoir ce que font les agriculteurs, et si possible, pourquoi ils le font ainsi.*

### 6.2 METHODE

Nous avons suivi une quinzaine de parcelles cotonnières dans chaque région d'étude au cours des saisons 1992 et 1993. En 1991, nous avons enquêté de manière prospective neuf parcelles paysannes de la province de Kanjanaburi (CASTELLA *et al.*, 1992). Ce premier contact nous a permis d'identifier plusieurs critères d'échantillonnage pour les années suivantes. Le choix des exploitations enquêtées a été guidé par les indicateurs suivants : la surface totale cultivée, la surface cotonnière, le nombre de cultures différentes, la présence d'élevage, la main d'oeuvre familiale et salariée, les activités extérieures, l'équipement, le type

de relation avec les commerçants locaux, enfin le coût des intrants en culture cotonnière au cours de l'année précédente. La sélection visait à maximiser la gamme de variation des situations cotonnières. En 1993, nous avons cherché à suivre les mêmes agriculteurs qu'en 1992. Mais certains d'entre eux ayant abandonné la production cotonnière, nous avons intégré de nouvelles exploitations à notre échantillon afin de maintenir un effectif constant.

Les itinéraires techniques cotonniers ainsi que le calendrier de travail de l'agriculteur et de sa famille ont été enregistrés, sur la base de deux visites mensuelles. En 1993, certains agriculteurs volontaires ont eux mêmes répertorié leurs opérations techniques (date, nature et durée des opérations culturales, coûts, gestion des intrants et de la main d'oeuvre). Ils ont permis ainsi de faciliter les enquêtes tout en améliorant la précision des résultats.

Enfin, nous avons cherché à identifier les déterminants des systèmes de culture cotonniers actuels, à partir de l'analyse (a) de la **perception du risque phytosanitaire** chez les agriculteurs ainsi que (b) des contraintes imposées par le **fonctionnement du système de production** (Hypothèse 4 du Chapitre 3).

- a) Des enquêtes rétrospectives sont destinées à mettre en évidence le modèle d'action des agriculteurs. Le suivi des mêmes exploitations sur plusieurs saisons permet d'appréhender leur processus de décision, d'évaluer l'écart entre les situations culturales qu'ils recherchent et celles qu'ils parviennent effectivement à mettre en oeuvre. Cette démarche vise par ailleurs à évaluer leur capacité d'adaptation à des phénomènes conjoncturels (pluie prolongée interdisant tout traitement phytosanitaire, attaque de ravageurs, matière active insecticide non disponible chez le fournisseur, etc.).
- b) Le système de culture est ensuite replacé dans le cadre plus large du système de production. Nous avons mené des enquêtes sur deux échantillons d'une trentaine d'exploitations (un échantillon par zone d'étude, cf. Figure 3.1). La moitié environ des agriculteurs pratiquaient la culture cotonnière. Ils correspondent à l'échantillon 'système de culture' présenté ci-dessus. Les autres n'ont jamais cultivé de coton ou ont abandonné cette production, pour différentes raisons, que nous avons cherché à identifier. Plusieurs entretiens avec les agriculteurs ont permis d'aborder différents aspects du fonctionnement des systèmes de production (objectifs de la famille, histoire de l'exploitation, moyens de production : équipement, capital, main d'oeuvre, etc.) (CAPILLON et MANICHON, 1988; CAPILLON, 1993). Une attention particulière a été portée à la place de la culture cotonnière dans l'exploitation agricole.

### 6.3 CARACTERISATION DE LA DIVERSITE DES PRATIQUES PAYSANNES EN CULTURE COTONNIERE

Nous présentons ici un inventaire des pratiques culturelles les plus courantes en culture cotonnière, dans les zones périphériques de la Plaine Centrale de Thaïlande. Certaines pratiques plus marginales seront aussi décrites, dans la mesure où elles sont particulièrement préjudiciables à la viabilité des systèmes cotonniers, ou qu'au contraire elles pourraient offrir des perspectives de développement de cette culture.

Les pratiques paysannes sont analysées par référence aux résultats expérimentaux présentés au chapitre 5, ainsi que d'autres essais réalisés par le projet DORAS pour répondre à différentes questions posées à l'issue des enquêtes. Par ailleurs, la comparaison des deux zones d'étude souligne l'adaptation des itinéraires techniques aux contextes biophysiques et socio-économiques présentés au chapitre 4.

#### 6.3.1 *Le précédent cultural et la préparation du sol.*

Les itinéraires techniques diffèrent largement entre Kanjanaburi et Lopburi, notamment en raison du précédent cultural.

##### ■ *Kanjanaburi*

Le système de culture traditionnel dans cette région consiste en un relais maïs - coton. Le maïs est semé vers la mi-avril, qui marque généralement le début de la saison des pluies. Les cotonniers sont semés entre les rangs de maïs, de quinze jours à un mois avant la récolte de ce dernier.

Un seul labour est pratiqué, vers février ou mars, à l'aide d'une charrue à 3 disques. Un lit de semence grossier est recherché, de façon à éviter que les premières pluies ne dégradent trop les états de surface avant le semis des cotonniers. En effet, le succès de cette deuxième opération, réalisée à la houe, dépend du degré de compactage de l'horizon superficiel de ces sols argileux (Annexe 4.1).

Ce système de culture relais est bien adapté aux zones climatiques où les pluies abondantes (> 1000 mm annuel) s'étendent sur une longue période (Figure 4.2-a).

- En effet, un semis de coton dès les premières pluies est interdit par la durée de la saison des pluies (d'avril à novembre), supérieure à celle du cycle cultural. Les précipitations sont tout particulièrement redoutées par les agriculteurs en fin de cycle. Elles altèrent la qualité du coton lorsque les premières capsules

ouvertes sont mouillées. Ce facteur impose donc de retarder le semis au mois de juillet.

- Le système de culture relais maïs-coton est doublement avantageux pour la gestion de la flore adventice sur la sole cotonnière.
  - (a) Le couvert végétal du maïs permet de contrôler l'enherbement des parcelles avant le semis de coton par le jeu de la compétition avec les adventices pour la lumière et les éléments minéraux du sol. Une simple pulvérisation insecticide permet de contrôler les mauvaises herbes avant le semis de la culture dérobée. En effet, un labour serait impossible à cette période (au mois de juin) car les sols argileux sont le plus souvent impraticables par les tracteurs en raison de leur forte humidité.
  - (b) Par ailleurs, après la récolte du maïs les tiges restent couchées entre les rangs de cotonniers et forment un paillage favorable à l'état structural du sol. Cette couverture assure un contrôle naturel de la flore adventice.

Mais la compétition entre les deux cultures affecte la croissance des jeunes cotonniers, si la période de relais se prolonge trop longtemps. Des essais ont été réalisés en 1992 et 1993 par le projet DORAS sur la station de recherche de Farm Suwan (GENAY, 1994). La période de chevauchement des cycles a été fixée à 0, 15, 30 et 45 jours selon un dispositif statistique à quatre répétitions (Tableau 6.1).

**Tableau 6.1.** Rendements en coton obtenus sur les essais maïs - coton pour différentes périodes relais entre les deux cultures, en 1993. La variété utilisée est Sri Samrong 60. Huit pulvérisations insecticides ont été réalisées de façon homogène sur tous les traitements.

Durée de chevauchement des cycles	Rendement (kg/ha)	Hauteur des plants à 42 jours après semis (cm)	Hauteur des plants à la récolte (cm)	Nombre de jassides sur 50 feuilles à 47 jours après semis
0 jour	1890	67 <sup>a</sup>	129 <sup>a</sup>	42
15 jours	1506	46 <sup>b</sup>	110 <sup>bc</sup>	29
30 jours	1482	38 <sup>c</sup>	106 <sup>b</sup>	27
45 jours	1614	49 <sup>b</sup>	117 <sup>b</sup>	34
Ft	3.3	39.2	10.9	2.8
Proba	NS	HS	HS	NS
CV (%)	12.7	8.0	5.2	24.4

<sup>a</sup> : Classement à l'issue de l'analyse de variance, pour les variables présentant des différences significatives.

NS = Non Significatif, HS = Hautement Significatif.

Les résultats obtenus montrent que:

- la croissance végétative du cotonnier est altérée, lorsqu'il est associé au maïs, par rapport à une culture pure (traitement 0 jours). Mais cette différence ne se traduit pas forcément en terme de rendement (l'écart entre traitements n'est pas significatif).
- les populations de jassides sont réduites en présence de maïs<sup>1</sup>. Les hypothèses d'une barrière physique de cette culture, qui affecterait la colonisation des plantules de cotonniers par les ravageurs, et celle d'une modification du microclimat au sein du couvert végétal (luminosité, humidité, température, etc.) ont été avancées pour expliquer ce phénomène. Ces résultats devraient être affinés grâce à de nouveaux essais.

Cependant, un retard de la saison des pluies peut avoir des conséquences dramatiques pour la sole cotonnière. Si le semis de maïs est décalé à la fin du mois d'avril ou en mai, l'agriculteur se trouve confronté à l'alternative suivante :

- semer le coton en juillet comme d'habitude, au risque de prolonger la période de 'cohabitation' entre les deux cultures. Cette situation de compétition (pour la lumière, les éléments minéraux du sol, etc.) tourne généralement au désavantage du cotonnier lorsqu'elle se prolonge au delà de 45 jours. Par ailleurs, les opérations culturales, telles que les traitements insecticides, sont plus pénibles pour l'agriculteur en raison de la présence du maïs.
- retarder le semis de coton, en prenant le risque de diminuer le potentiel de production du cotonnier. En effet, celui-ci dispose d'une durée plus courte avant la fin de la saison des pluies.

Plusieurs années consécutives de saison des pluies décalée ont poussé bon nombre d'agriculteurs à modifier la culture précédente, en introduisant le maïs doux. La récolte est effectuée deux mois environ après le semis contre trois mois pour le maïs traditionnel, destiné à la consommation animale. L'avantage technique est évident, puisque cette innovation donne la possibilité de retarder l'implantation de la première culture, sans altérer les potentialités agronomiques du suivant. A l'extrême elle permet d'éviter un chevauchement entre les deux cycles consécutifs, tout en conservant les avantages énumérés ci-dessus.

Alors qu'aucun agriculteur de la zone ne pratiquait ce nouveau système de culture en 1991, la moitié des producteurs de coton enquêtés en 1993 s'étaient lancés dans la production de maïs doux. Cependant, le débouché commercial de

---

<sup>1</sup> Cependant, il est difficile de mettre en évidence des différences significatives de  $r$  parasite à un instant donné car les niveaux d'infestation varient considérablement au temps.

ce produit consommé en frais est encore très étroit. Son succès auprès des agriculteurs depuis 1990 a fait chuter les prix rapidement, et contribue à limiter sa compétitivité.

### ■ *Lopburi*

Dans la zone de Lopburi, les conditions climatiques favorisent une culture pure (Annexe 6.1). La préparation du sol est généralement effectuée au mois de février ou mars à l'aide d'une charrue trois disques. Une reprise de labour est réalisée juste avant le semis grâce à une charrue à sept disques. Cette pratique est homogène sur l'ensemble de la zone d'étude.

Le problème posé par le précédent cultural est essentiellement de nature phytosanitaire. En effet, la monoculture de coton est une pratique courante chez les plus petits agriculteurs, qui ne disposent pas d'une superficie suffisante pour assurer une rotation de la sole cotonnière sur leurs parcelles. Nous avons vu au chapitre 2, que les larves de lépidoptères se transmettent d'une saison culturale à l'autre grâce à des 'formes dormantes': chrysalides, qui passent la saison sèche dans le sol ou dans les résidus de la culture précédente. La destruction des résidus, brûlés ou enfouis en profondeur au moment du labour, est donc une pratique phytosanitaire essentielle.

Cependant, beaucoup d'agriculteurs n'ont pas conscience de l'importance de cette technique. Ils préfèrent couper les cotonniers juste avant la préparation du sol pour la culture suivante (février - mars), alors que la main d'oeuvre est inoccupée (Figure 4.8), plutôt qu'à la fin de la récolte de coton (décembre - janvier), parce que cette opération entre alors en concurrence avec la récolte du sorgho, du maïs et du riz (notamment pour les personnes engagées dans une activité extérieure à l'exploitation, comme salariés agricoles, cf. § 6.5).

D'autres producteurs laissent intentionnellement les tiges de cotonniers dans la parcelle après la récolte, dans l'espoir qu'une pluie de fin d'année (vers les mois de décembre ou janvier) permette un redémarrage végétatif de cette plante pérenne. Une nouvelle récolte au mois de mars - avril est possible une année sur quatre environ à Lopburi (cf. analyse fréquentielle du climat, Figure 4.2). Cependant, cette pratique favorise le développement des populations de ravageurs, qui disposent ainsi d'une source alimentaire tout au long de l'année. Elle a des conséquences catastrophiques pour la protection de la culture (Chapitre 2). Dans les années 80, certains agriculteurs de la zone de Lopburi avaient mis en oeuvre des systèmes de culture fondés sur cette technique. Un semis de coton dès les premières pluies (mars - avril) autorisait une première récolte au mois de juillet - août, souvent réalisée en conditions pluvieuses. Le coton était séché et stocké. Un second pic de pluies permettait d'accomplir un cycle végétatif complet, à grand renfort de produits phytosanitaires, et de récolter à nouveau au mois de novembre. Le coton-graine des deux récoltes était alors

mélangé et vendu vers décembre - janvier. Mais rapidement le coût des insecticides a érodé le gain économique lié à la double récolte.

Finalement, le précédent cultural peut favoriser la contrainte parasitaire à plusieurs titres :

- dans le cas du système de culture maïs-coton, il **prolonge la période de présence de plantes hôtes** pour *H. armigera*. Ce ravageur trouve donc des conditions favorables à son développement tout au long de la saison des pluies.
- il peut ensuite passer la période sèche dans les **résidus du cotonnier**, s'ils ne sont pas **détruits** après la récolte; ou dans le **sol**, si celui-ci n'est pas **travaillé** rapidement.

Les pratiques culturales des agriculteurs sont justifiées par des contraintes de natures (a) agronomiques, liées au contrôle de la flore adventice ou à la monoculture du cotonnier (b) ou économiques : coût d'opportunité de la main d'oeuvre en fin de saison des pluies, perspective d'une double récolte, etc. mais ont des conséquences phytosanitaires particulièrement négatives. Elles ont contribué à entraîner les agriculteurs dans l'engrenage des pulvérisations abusives d'insecticides.

### 6.3.2 Le choix variétal

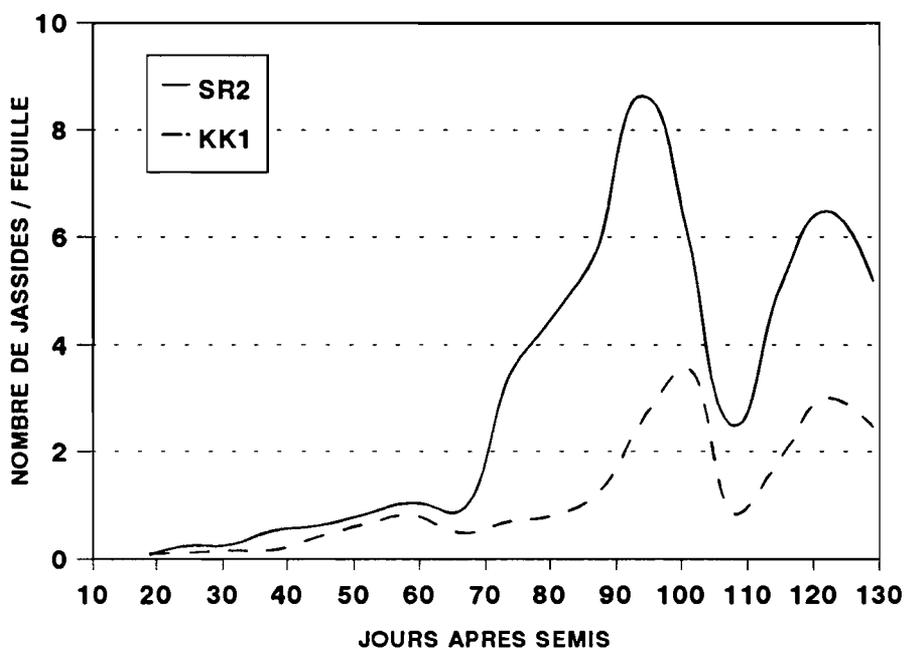
#### 6.3.2.1 Les caractères de tolérance aux insectes ravageurs

Nous avons vu au chapitre 4 que la sélection des variétés de cotonniers a été guidée par la volonté d'améliorer la qualité et la productivité, au détriment des caractères naturels de tolérance aux ravageurs (Annexe 4.2).

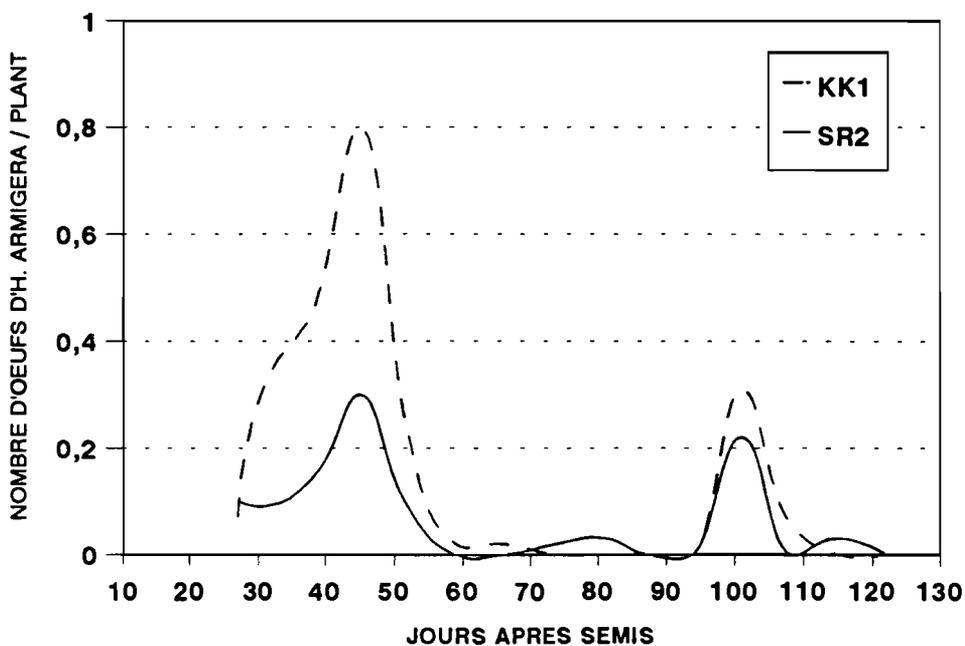
Les variétés les plus cultivées aujourd'hui sont Sri Samrong 2 (SR2) et Sri Samrong 60 (SR60). Ces cotonniers à feuilles glabres sont particulièrement sensibles aux attaques de jassides.

Des essais menés par le projet DORAS en 1991 ont permis de comparer les profils parasitaires selon la pilosité foliaire. Les variétés Sri Samrong 2, à feuilles glabres, et Kham Khao 1 (KK1, vulgarisée au Laos), à feuilles pileuses, ont été cultivées selon le même itinéraire technique. La figure 6.1 montre que la variété pileuse est beaucoup moins attaquée par les jassides. Par contre, ce caractère génétique favorise l'oviposition d'*H. armigera* sur les feuilles. Les oeufs, retenus par les poils, ont moins de risque d'être délogés par les précipitations. Ainsi, la variété KK1 a été plus attaquée par les chenilles que SR2 (Figure 6.2).

**Figure 6.1.** Comparaison du niveau d'infestation par les jassides selon la pilosité des feuilles: variétés à feuilles glabres (Sri Samrong 2) et à feuilles pileuses (Kham Khao 1). Ces résultats sont issus des expérimentations phytosanitaires menées en 1991 sur la station de Farm Suwan (province de Nakhon Rachasima).



**Figure 6.2.** Comparaison de l'oviposition d'*Helicoverpa armigera* selon la pilosité des feuilles: variétés à feuilles glabres (Sri Samrong 2) et à feuilles pileuses (Kham Khao 1). Ces résultats sont issus des expérimentations phytosanitaires menées en 1991 sur la station de Farm Suwan (province de Nakhon Rachasima).



Ce résultat suggère que les caractères morphologiques du cotonnier (lui conférant une tolérance aux insectes ravageurs) doivent être adaptés au faciès de l'entomofaune des différentes zones géographiques

Cependant, la pilosité des feuilles a longtemps été considérée par les généticiens thaïs comme un caractère associé à une moindre qualité de la fibre (JAN-ORN, 1989). Les seules variétés pileuses cultivées aujourd'hui en Thaïlande sont les espèces traditionnelles de *G. arboreum*, qui représentent (selon les statistiques du Département de l'agriculture) 13% des surfaces cotonnières (DIVISION OF AGRICULTURAL ECONOMICS, 1994). Cependant, elles ne sont pas cultivées dans les régions que nous avons étudiées, mais plutôt dans les zones marginales du nord.

### 6.3.2.2 Semences certifiées ou sélection de l'agriculteur

Pour l'agriculteur, la gamme de choix est donc réduite à deux variétés. La durée de leur cycle est équivalente. Les producteurs n'ont donc pas la possibilité de jouer sur ce caractère pour caler le cycle cultural en fonction de la pluviométrie de l'année.

La seule différence notable entre ces cultivars réside dans la sensibilité à l'abscission physiologique des organes fructifères. SR60 résiste mieux que SR2 à une couverture nuageuse prolongée et à de fortes précipitations (cf. § 2.1). Par contre SR2 est préférée par les producteurs car elle présente un nombre plus faible de capsules, de taille supérieure à celles de SR60. Cette caractéristique facilite la récolte manuelle du coton-graine.

Le principal facteur de diversité entre producteurs réside dans l'origine de la semence. Celle-ci est achetée aux compagnies d'égrenage par la moitié d'entre eux environ. Les autres sélectionnent leur semence d'une année sur l'autre.

- **Les semences commercialisées par les usines d'égrenage** ne sont pas pour autant des variétés pures, de qualité homogène. La visite des parcelles de cotonniers issus de ces semences montre qu'ils s'agit plutôt de populations que de variétés. Cette observation est d'importance majeure puisqu'elle affecte dans une large mesure la qualité de la récolte. Elle témoigne des problèmes que rencontrent les usines d'égrenage dans la gestion de la qualité, en termes de pureté variétale mais aussi de pouvoir germinatif des lots de semences (cf. § 4.5). Le secteur public fournit quant à lui moins de 15% des semences certifiées (SETBOONSARNG *et al.*, 1991).
- **La sélection massale des semences d'une année sur l'autre** est donc un moyen de pallier les contraintes liées à l'approvisionnement par les structures

privées ou publiques d'encadrement. L'agriculteur choisit le coton-graine des plants qui lui paraissent les plus beaux. Les critères de jugement privilégiés sont ceux du nombre de capsules et de leur grosseur. A Lopburi, le coton-graine destiné à la semence est amené au village et égrené par un commerçant local, qui dispose d'une égreneuse à rouleau. Celui-ci se paye de la fibre et remet les graines au producteur. La semence coûte finalement à l'agriculteur l'équivalent du coton-graine non vendu, soit environ 30 Bahts pour un kilogramme de semence, en 1993, alors que le prix varie entre 20 et 30 Bahts sur le marché local (pour un produit de qualité incertaine). A Kanjanaburi, les agriculteurs qui pratiquent leur propre sélection sèment directement les graines mélangées à la fibre.

Finalement, les producteurs disposent de relativement peu de choix pour les variétés. Certains d'entre eux compensent la faible qualité des semences disponibles sur le marché en sélectionnant eux mêmes leurs semences. Ce phénomène, préjudiciable à la qualité de la production, finit par occulter l'importance de l'amélioration génétique dans le développement de la culture cotonnière. Dans la mesure où il n'existe plus aujourd'hui de variété pure sur le marché, le problème du choix variétal ne se pose pas aux agriculteurs.

### 6.3.3 *Le semis*

Cette opération est réalisée manuellement entre les lignes de maïs à Kanjanaburi. Un trou de 3 à 5 cm de profondeur est creusé à la houe, la semence est déposée et recouverte de terre d'un mouvement du pied. A Lopburi, des sillons sont généralement creusés par un appareil à dents attelé au tracteur. Cette technique facilite le semis manuel, qui intervient ensuite.

Alors que le semis de maïs ou de soja est aujourd'hui mécanisé, celui du cotonnier est resté manuel. En effet, les semences non délintées ne permettent pas de mécaniser cette opération<sup>1</sup>. Ce facteur représente une contrainte pour l'adoption de cette culture par les gros producteurs.

Les agriculteurs jouent donc beaucoup plus sur la date que sur la méthode de semis. Les recherches réalisées sur ce premier thème par le Département de l'agriculture (DOA) ont montré une corrélation entre la date de semis et le rendement, avec une perte moyenne de rendement de 21 kg/ha de coton-graine

---

<sup>1</sup> Le délintage des semences consiste à éliminer le reste de fibre qui entoure la graine après l'égrenage. Cette opération est généralement réalisée par brûlage ou par traitement à l'acide concentré. Elle est pratiquée dans tous les pays industrialisés producteurs de coton ainsi qu'en Afrique de l'Ouest, etc. L'absence d'un tel équipement industriel en Thaïlande est sans doute liée aux faiblesses du marché de la semence cotonnière.

par jour de retard à partir du 1er Juillet<sup>1</sup> (cité par EVENSON, 1987).

Cependant, on observe en Annexe 6.2-a des semis beaucoup plus précoces à Lopburi qu'à Kanjanaburi. La proportion d'agriculteurs ayant semé avant le 1er Juillet est de 13% à Kanjanaburi contre 41% pour Lopburi pour les saisons 1992 et 1993. Quelles sont les raisons qui motivent ces pratiques, risquées si l'on en croit les résultats du DOA présentés ci-dessus?

L'écart entre les résultats expérimentaux, établis dans la province de Nakhon Sawan, et les pratiques des paysans s'explique tout d'abord par une différence de pluviométrie entre les régions concernées. Kanjanaburi est beaucoup plus arrosée que Lopburi (Annexe 6.1) dont le climat est proche de celui de Nakhon Sawan. Le système de culture relais maïs-coton de cette première zone explique le retard du semis des cotonniers (cf. § 6.3.1). Mais les essais du DOA, réalisés en conditions irriguées, occultent le risque de mauvaise implantation de la culture par manque de pluie en début de saison.

### 6.3.3.1 Date de semis et potentialités agronomiques de la culture

Nous avons vu au chapitre 2 qu'en zone d'agriculture pluviale, la date de semis joue à la fois sur trois facteurs agronomiques : la qualité de l'implantation de la culture en début de saison, la pluie utile reçue au cours du cycle végétatif, et enfin le risque de pluie en fin de cycle lorsque les premières capsules sont ouvertes.

#### 6.3.3.1.1 L'implantation de la culture

Les agriculteurs de Lopburi ont intérêt à semer le plus tôt possible de façon à maximiser le potentiel de rendement.

Beaucoup d'entre eux sèment après la première pluie supérieure à 10 mm, mais ils courent le risque d'une mauvaise levée si un épisode de sécheresse suit le semis. Une façon de limiter ce risque consiste à utiliser des semences prégermées<sup>2</sup>. Cette méthode est utilisée de façon systématique à Kanjanaburi, mais pour une autre raison. En effet, le semis en milieu de saison des pluies est beaucoup moins risqué, d'autant plus que le maïs crée un microclimat favorable à

---

<sup>1</sup> La relation linéaire est de la forme :

$$Y = 316 - 3.37 X$$

avec X = nombre de jours après le premier juillet et Y = rendement en coton-graine par raï (1 ha = 6,25 raïs). Elle a été établie à partir de résultats expérimentaux obtenus sur la station de recherche de Tak Fa dans la province de Nakhon Sawan.

<sup>2</sup> La semence est trempée dans l'eau 24 à 48 heures avant le semis.

la conservation de l'humidité des horizons superficiels du sol. Il s'agit seulement d'accélérer la levée.

Une pratique courante à Lopburi est de semer en sec<sup>1</sup> de manière à ce que la première pluie assure la levée. Cette technique s'est développée ces dernières années, caractérisées par une saison des pluies particulièrement tardive (Figure 4.6). Cependant, elle est très risquée car (a) le pouvoir germinatif de la semence diminue à partir de trois semaines<sup>2</sup> et (b) une petite pluie peut provoquer la germination sans humidifier suffisamment le sol pour assurer la levée; et entraîner la destruction des plantules.

#### 6.3.3.1.2 Le calage du cycle cultural pour maximiser la pluie utile

La position du cycle cultural par rapport à la saison des pluies joue un rôle déterminant sur l'arrêt de la fructification. Nous avons vérifié ce phénomène au moyen des résultats expérimentaux obtenus dans les provinces de Kanjanaburi et de Lopburi (Chapitre 5). La pluie, tombée entre le semis et l'apparition du stress hydrique du début de saison sèche, est considérée comme la pluie utile au développement végétatif du cotonnier. Le potentiel de production de la plante dépend de la quantité d'eau disponible au cours du cycle cultural<sup>3</sup>, et par voie de conséquence de la date de semis.

La figure 6.3 replace les principales caractéristiques du cycle du cotonnier par rapport à une analyse fréquentielle de la pluviométrie :

- la hauteur des plants du graphe 6.3.-b est corrélée au nombre de sites fructifères en raison de la morphologie du cotonnier (cf. § 2.1.1 et DORAS, 1992). Le potentiel de rendement, associé à la formation de sites fructifères, est favorisé par des semis précoces.
- le calage du cycle par rapport à la saison des pluies détermine le stade de développement auquel le stress hydrique survient (Figure 6.3-c). Nous avons vu au chapitre 2 qu'un stress modéré stoppe la croissance végétative, mais qu'il peut conduire à l'abscission des jeunes organes fructifères s'il est prolongé. Un semis tardif accroît le risque d'observer un stress hydrique avant que le cotonnier n'ait accompli son cycle reproducteur, soit 120 jours environ après la levée pour les variétés SR2 et SR60.

---

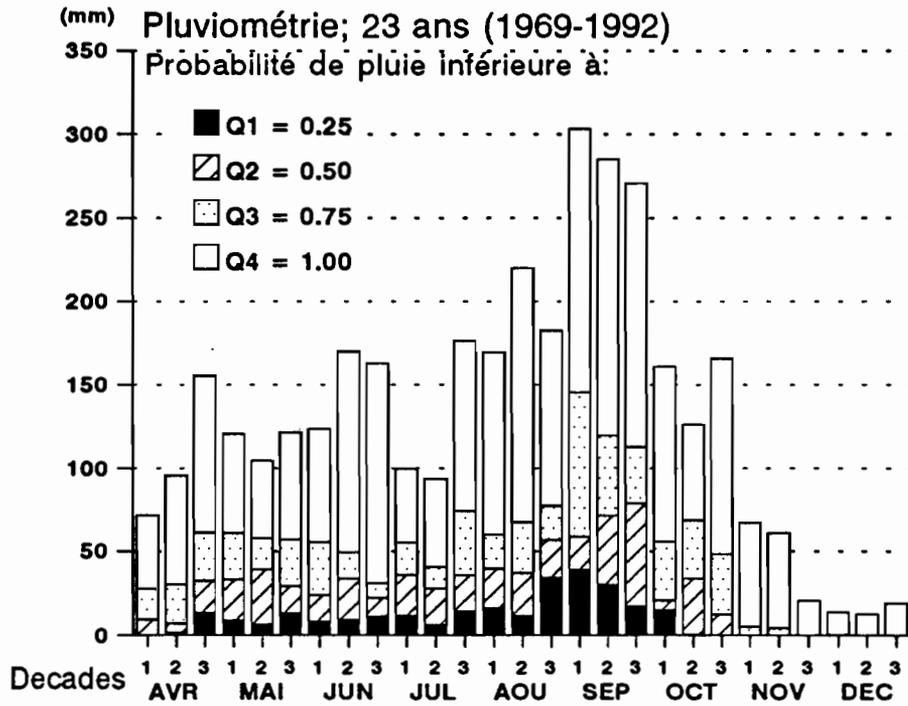
<sup>1</sup> La semence non humectée est semée dans un sol complètement sec.

<sup>2</sup> Les graines oléagineuses se conservent relativement mal en raison d'une dégradation rapide des lipides.

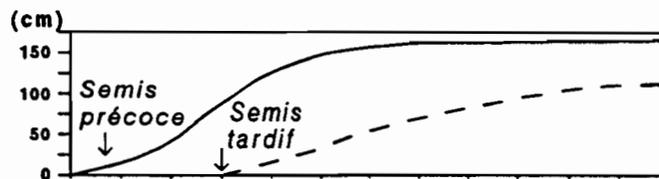
<sup>3</sup> Le bilan hydrique dépend en effet de la réserve en eau du sol au moment du semis, de la pluie utile et de l'évapotranspiration.

**Figure 6.3.** Représentation schématique des conséquences de la date de semis, en termes de risques climatiques.

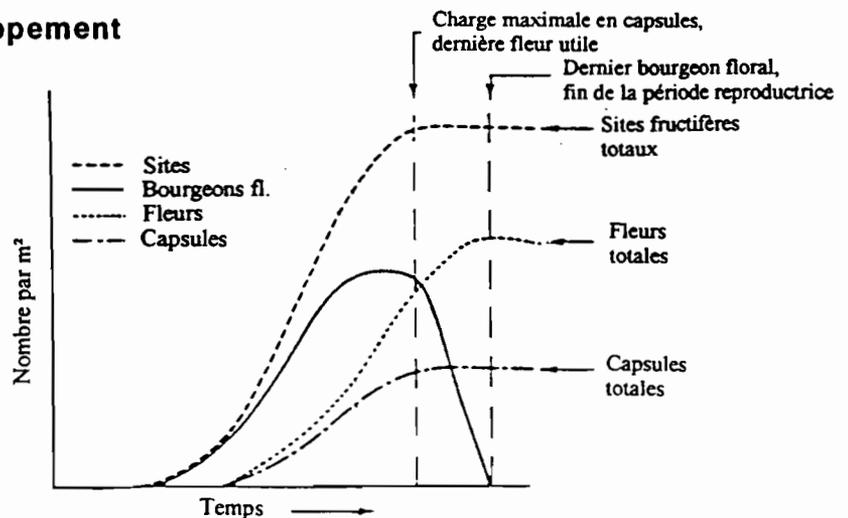
**a) Analyse fréquentielle du climat**



**b) Hauteur des cotonniers**



**c) Stades de développement**



### 6.3.3.1.3 Le risque de pluie à la récolte

Mais à l'inverse, une pluie après 120 jours, période à laquelle les premières capsules commencent à s'ouvrir, affecte la qualité de la récolte. Le coton-graine, mouillé, perd une partie de sa valeur commerciale. Ce problème touche plus particulièrement la zone de Kanjanaburi; c'est pourquoi il est déconseillé de semer avant le 1er Juillet dans cette région.

La période favorable au semis est donc limitée :

*en amont* ⇒ par le risque de pluie en fin de cycle cultural (plus marqué à Kanjanaburi),

*en aval* ⇒ par la disponibilité en eau pour le développement de la plante (plus sensible à Lopburi où la pluviométrie annuelle est inférieure à celle de Kanjanaburi : Annexe 6.1).

Ce phénomène explique l'écart des dates de semis, pratiquées dans les régions étudiées, dont témoigne l'annexe 6.2-a.

### 6.3.3.2 Date de semis et sensibilité aux attaques de ravageurs

Nous avons vu au chapitre 5 que la date de semis jouait aussi un rôle clef, à l'interface entre les attaques d'insectes ravageurs et la physiologie du cotonnier.

Trois facteurs interviennent alors :

- le niveau de sensibilité aux différents types de ravageurs selon le stade de développement de la plante,
- L'aptitude du cotonnier à compenser des dégâts d'insectes en fonction de la période du cycle auquel le dégât intervient et de la position du cycle cultural par rapport au stress hydrique de fin de saison des pluies (cf. ci-dessus).
- Enfin, les variations des populations d'insectes au cours du temps (§ 5.3), qui conditionnent la probabilité d'infestation ainsi que le niveau de pression parasitaire.

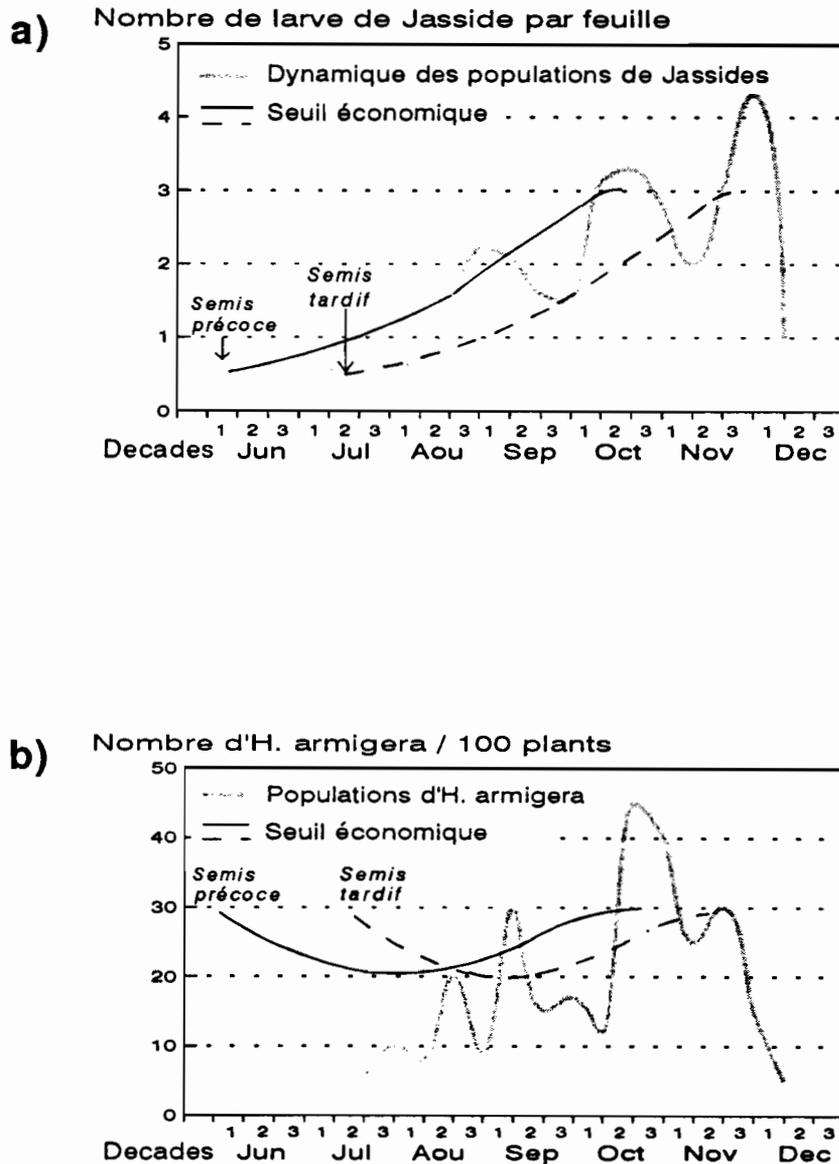
Les figure 6.4 (a) et (b) illustrent, dans le cas des jassides et des chenilles, l'effet de la date de semis sur ces trois facteurs.

- Les courbes<sup>1</sup> correspondant à une probabilité d'infestation de ravageur égale à 0,5 sont issues de l'annexe 5.2 et de la figure 5.4.

---

<sup>1</sup> Le choix de la probabilité égale à 0,5 se fonde sur l'hypothèse que les agriculteurs considèrent comme très risqué un événement qui a une chance sur deux de survenir (TÜTTINGHOFF, 1991).

**Figure 6.4.** Rôle de la date de semis sur le risque phytosanitaire dans le cas (a) des jassides (*Amrasca biguttula*) et celui (b) des chenilles (*Helicoverpa armigera*). Les courbes en traits épais représentent le niveau d'infestation atteint sur la moitié des parcelles observés, en fonction de la date du calendrier julien. Elles sont issues des résultats expérimentaux obtenus sur 116 parcelles entre 1991 et 1993 dans les provinces de Lopburi, Kanjanaburi et Nakhon Rachasima (cf. § 5.3). Les courbes en traits fins correspondent à des seuils dynamiques d'interventions élaborés à partir des résultats présentés au paragraphe 5.3.2.



- Les seuils économiques d'intervention sont établis à partir des résultats expérimentaux présentés au paragraphe 5.3.2. En effet, nous avons conclu que les attaques de chenilles carpophages avaient des conséquences limitées en terme de dommage lorsqu'elles interviennent en début de cycle ou en fin de cycle. Pour les jassides, les dégâts sont d'autant plus graves que la surface foliaire est réduite. La forme des courbes (seuils d'intervention) intègre donc les variations de sensibilité de la plante aux dégâts de ravageurs.

L'impact d'un retard de date de semis sur le risque phytosanitaire apparaît lorsque l'on translate vers la droite le seuil d'intervention (courbes en trait plein pour un semis précoce et en trait pointillé pour un semis tardif sur les figures 6.4). Le seuil des chenilles est dépassé à plusieurs reprises dans le cas d'un semis tardif (juillet - août) alors qu'il n'est atteint qu'en fin de cycle cultural dans le cas d'un semis précoce. De même pour les jassides, un semis tardif est particulièrement défavorable : les oscillations correspondant aux générations successives d'insectes dépassent systématiquement le seuil de dommage.

La date de semis permet de moduler la sensibilité du cotonnier aux attaques de ravageurs en positionnant le cycle cultural par rapport à la courbe de fréquence des infestations d'insectes<sup>1</sup>. Un semis précoce contribue donc à diminuer le risque phytosanitaire.

Finalement, la date de semis intervient à plusieurs titres sur le processus d'élaboration du rendement. Nous retrouvons :

- le rôle du **précédent** sur le calage du cycle cultural du cotonnier,
- l'effet des conditions climatiques sur les **dynamiques de population d'insectes** ravageurs, et sur l'aptitude du cotonnier à **compenser** des dégâts parasitaires,
- enfin, les stratégies de protection de la culture : choix entre un semis **précoce**, qui expose la culture aux attaques de ravageurs aux périodes où elle leur est le moins sensible, ou **tardif**, qui limite la durée totale d'exposition aux ravageurs.

La relation entre la date de semis et le rendement est donc beaucoup plus complexe qu'une simple équation de régression.

---

<sup>1</sup> L'analyse fréquentielle des attaques de ravageurs, réalisée à partir des données collectées sur les 116 parcelles élémentaires du réseau expérimental présenté au chapitre 5, n'a ici qu'un caractère descriptif. En effet, une démarche prédictive nécessiterait une base de donnée établie sur de nombreuses années pour chacune des zones cotonnières.

### 6.3.4 La densité de peuplement

La densité de peuplement varie entre Lopburi et Kanjanaburi ainsi que sur chacune de ces régions (Annexe 6.2-b) : 80% des densités sont comprises entre 15000 et 25000 plants par hectare.

Ces variations peuvent être associées à trois facteurs différents :

A Kanjanaburi, l'écartement entre les lignes est imposé par celui du maïs précédent, soit environ 1,2 m. C'est sans doute pourquoi la densité est légèrement supérieure à celle de Lopburi. Par ailleurs, des interlignes de 1,8 à 2 m ont été relevés à Lopburi, chez les agriculteurs qui pratiquent un sarclage mécanisé<sup>1</sup>.

L'espace entre poquets varie entre 50 et 80 cm.

Deux plants sont généralement conservés par poquet, au cours d'un démarrage réalisé 45 jours environ après le semis. Mais ce nombre de plants peut varier de 1 à 3.

Cependant, la question que posent ces pratiques trouve son origine dans la comparaison avec d'autres pays. La densité de peuplement recommandée en Afrique de l'Ouest est égale au double de celle de la Thaïlande (40000 plants/ha). Dans les pays où la culture est mécanisée, les semis sont plus denses encore avec 50000 à 150000 plants par hectare. Quels sont donc les avantages liés aux fortes densités de peuplement?

#### 6.3.4.1 Avantages liés aux fortes densités de peuplement

- *La compétition avec les adventices*

Une couverture foliaire dense favorise le cotonnier dans la compétition avec la flore adventice. La fermeture rapide du couvert végétal permet aux agriculteurs de réduire le temps de travail affecté au contrôle de l'enherbement.

- *La précocité de la récolte*

BUXTON *et al.* (1977) montrent (a) qu'un accroissement de la densité de peuplement de 5 plants/m<sup>2</sup> réduit le nombre total de branches d'une unité, (b) que chaque 8 plants/m<sup>2</sup> supplémentaires le nombre de branches végétatives diminue

---

<sup>1</sup> Cet écartement est adapté aux dimensions du tracteur.

d'une unité, (c) enfin le pourcentage de capsules récoltées sur les branches végétatives par rapport aux branches fructifères évolue de manière inversement proportionnelle à la densité de peuplement à partir de 7 plants/m<sup>2</sup>.

Les fortes densités, en réduisant le nombre de branches, condensent la fructification sur les seules branches fructifères, de stade plus avancé que les branches végétatives. Cette pratique permet de réduire la période de maturation des capsules pour récolter en un seul passage. Elle est particulièrement adaptée à la récolte mécanisée.

La précocité de la récolte est par ailleurs un facteur clef de la lutte intégrée. Nous avons vu au paragraphe 2.3.4 qu'elle permet de réduire la période de présence de la culture dans l'agroécosystème de façon à limiter le développement des populations de ravageurs<sup>1</sup>. En Thaïlande, elle permettrait d'éviter les attaques d'*H. armigera*, particulièrement dévastatrices en fin de saison, sans imposer un semis précoce.

#### 6.3.4.2 Raisons du choix d'une densité faible par les agriculteurs thaïs

Une première raison est que l'ensemble de l'itinéraire technique est manuel et que de fortes densités augmenteraient la **pénibilité** des différentes opérations culturales<sup>2</sup>, notamment pour les pulvérisations insecticides. Les années très pluvieuses, les plants peuvent atteindre 1,8 à 2 m de hauteur, avec des branches latérales entremêlées. De fortes densité de semis interdiraient toute intervention dans la parcelle, et réduiraient la pénétration des insecticides dans le couvert végétal. En outre, nous avons vu au chapitre 2 qu'un feuillage très dense limite la pénétration de la lumière dans les parties basses, favorisant l'abscission des organes fructifères et le développement de pourritures de la capsule.

SWANGSRI (1994) relève, dans la zone de Lopburi, une augmentation de la densité de peuplement avec le retard au semis. La diminution de la hauteur potentielle des plants permet de semer plus dense pour compenser la réduction du nombre de sites fructifères (Figure 6.3-b).

Le second argument concerne le **risque phytosanitaire**. Le groupage sur une période très courte des organes fructifères qui parviendront à maturité, concentre le risque phytosanitaire sur un laps de temps réduit. Cette technique ne donne

---

<sup>1</sup> Cette pratique contribue à limiter la période d'exposition de la culture aux insectes ravageurs, et par voie de conséquence à diminuer l'utilisation d'insecticides.

<sup>2</sup> En particulier, il est très dangereux de pulvériser des cotonniers qui dépassent en hauteur la taille de l'agriculteur. Celui-ci traite au niveau de son visage et de ses vêtements sont souvent détrempés par l'insecticide au contact des feuilles. De plus, beaucoup de branches sont cassées lors des opérations culturales.

aucun droit à l'erreur pour la protection de la culture à cette période clef, et limite par ailleurs les possibilités de compensation de la plante. Les producteurs thaïs répartissent au contraire le risque parasitaire lié aux chenilles carpophages sur une période fructifère allongée au maximum. Les attaques sur les branches fructifères peuvent même être compensées par une augmentation de la production de capsules sur les branches végétatives.

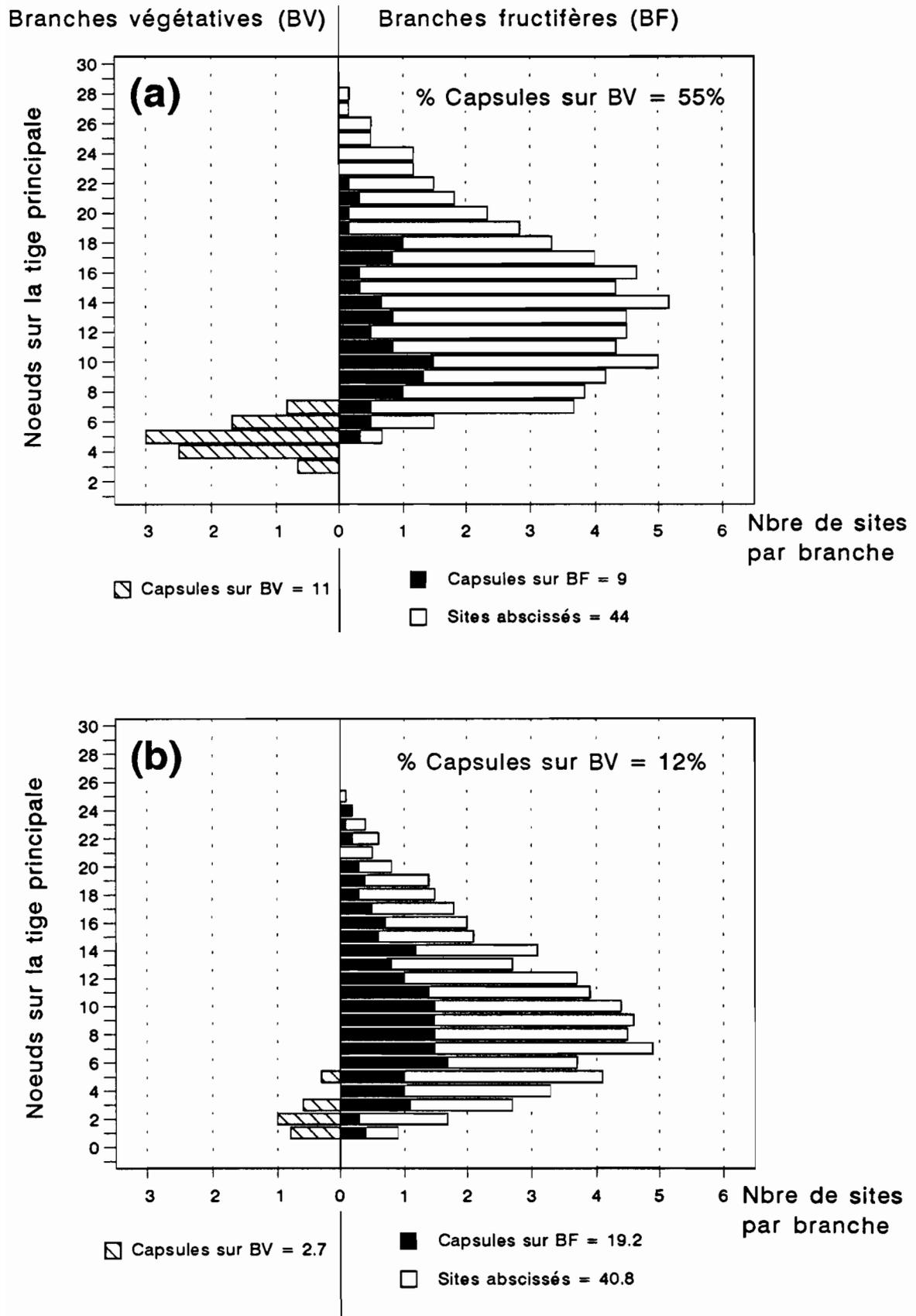
Le suivi de la morphologie des cotonniers en situation paysanne témoigne de ce phénomène (Figure 6.5). La parcelle de l'agriculteur (a) a subi une attaque de chenilles à la moitié de la phase de fructification (noeuds 10 à 16), ce qui est visible par l'écart important entre le nombre de sites totaux et le nombre de capsules sur les branches fructifères. Cette attaque a pu être compensée sur les branches végétatives par la suite<sup>1</sup>. Les branches végétatives ont produit 55% du nombre total de capsules récoltées, mais nous avons relevé jusqu'à 70%. La situation (b) présente une distribution des capsules plus proche de la normale, et en conséquence un moindre rôle des branches végétatives dans la production.

Finalement, il semble que les agriculteurs donnent la priorité à la réduction du risque phytosanitaire (par l'aptitude du cotonnier à compenser des dégâts d'insectes) dans le choix de la densité de peuplement.

---

<sup>1</sup> Tous les événements bioclimatiques s'inscrivent dans la morphologie du cotonnier; ils peuvent ainsi être datés a posteriori (cf. § 2.1.1).

**Figure 6.5.** Distribution de la fructification du cotonnier sur les branches fructifères (à droite) et végétatives (à gauche), selon la position sur la tige principale. Les données ont été collectées à (a) Kanjanaburi et (b) Lopburi en 1992, chez deux agriculteurs qui ont obtenu un rendement similaire. Moyenne sur 10 plants du nombre de sites fructifères et capsules à la récolte.



### 6.3.5 *Le contrôle des adventices*

Le contrôle de l'enherbement joue aussi un rôle important en protection de la culture, car les adventices peuvent constituer un 'réservoir de parasitisme'. Nous avons vu au chapitre 2 (§ 2.2) que presque tous les ravageurs disposent de plantes adventices comme hôte alternatif.

Cependant, l'enherbement peut aussi être considéré comme un révélateur du soin porté par l'agriculteur à la culture. Lorsque le contrôle des adventices est négligé, les résultats en terme de rendement s'en ressentent inévitablement (Figure 6.6). Mais il est difficile d'évaluer la part (a) de la compétition entre adventices et cotonniers pour la lumière, l'eau et les éléments minéraux du sol, (b) de l'augmentation du parasitisme lié à l'état de 'propreté' de la parcelle ou enfin (c) du laisser-aller relatif de l'agriculteur sur l'ensemble de l'itinéraire technique (généralement par manque de temps ou de disponibilités financières pour financer l'achat des intrants) dont l'enherbement n'est qu'un révélateur.

Le contrôle des adventices représente en effet un poste de dépense majeur en temps de travail ou pour l'achat des herbicides. Le nombre d'interventions s'échelonne de 1 à 5 selon les régions et les systèmes de culture (Annexe 6.2-c).

#### 6.3.5.1 Le sarclage mécanisé

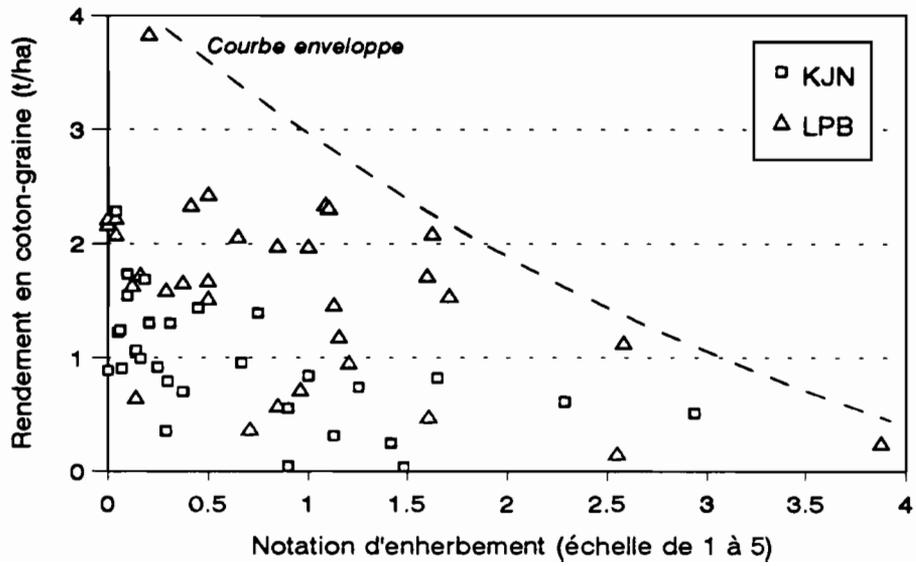
Cette technique est utilisée par les quelques agriculteurs de la zone de Lopburi qui disposent d'un tracteur. Un appareil à dents permet de sarcler entre les lignes de cotonniers, jusqu'à un mois environ après le semis. Par la suite la taille des plants interdit cette technique qui pourrait les endommager. L'opération est suivie d'un sarclage manuel sur la ligne de plantation.

#### 6.3.5.2 Le sarclage manuel

C'est, avec la récolte, l'opération la plus coûteuse en temps de travail. Réalisée à la houe, elle requiert de 10 à 80 heures par hectare, selon qu'elle est associée à un sarclage mécanisé, à l'utilisation d'herbicides ou qu'elle est la seule méthode de contrôle de l'enherbement.

Lorsque le couvert végétal se referme, les agriculteurs changent généralement d'outil. Une serpette permet de couper l'herbe à ras du sol entre les lignes de cotonniers. Son manche court évite d'endommager les branches de cotonnier. C'est son avantage principal sur la houe, à ce stade de développement de la culture, avec la vitesse de travail.

**Figure 6.6.** Rendement, obtenu sur les parcelles enquêtées, en fonction du niveau moyen d'enherbement au cours du cycle cultural.



### 6.3.5.3 Les herbicides

Dans la zone de Kanjanaburi, le recours aux herbicides est systématique avant le semis des cotonniers. Du paraquat<sup>1</sup>, herbicide de contact peu rémanent, est pulvérisé entre les rangs de maïs une semaine environ avant le semis de coton. Son utilisation est ensuite particulièrement risquée, car les cotonniers, sensibles à ce produit, seraient aussi touchés. Le sarclage manuel s'impose donc jusqu'à ce que les plants soient suffisamment grands pour permettre de pulvériser à nouveau ce type d'herbicide<sup>2</sup>. L'importance de la sole cotonnière dans les exploitations de Kanjanaburi (Annexe 6.2-g) explique la forte utilisation d'herbicides (par rapport à Lopburi), technique beaucoup plus rapide que le sarclage manuel.

Le recours aux herbicides de prélevée est plus récent, puisqu'il date du début des années 90, alors le paraquat est utilisé depuis la fin des années 70. Cependant, ces matières actives, qui réduisent le pouvoir germinatif des semences d'adventices pendant plusieurs semaines (telle que la pendimethaline), sont plus difficiles d'emploi que les autres herbicides. Elles requièrent un lit de semis fin et régulier ainsi qu'un taux d'humidité minimal des horizons superficiels du sol. Outre la technicité nécessaire pour réussir cette opération, un obstacle à son développement à plus large échelle réside dans la perception 'sociale' qu'en ont les agriculteurs. En effet, la culture cotonnière représente souvent une source de revenu majeure pour les petits producteurs qui la pratiquent, ainsi qu'un investissement en travail et en intrants inégalé par aucune autre culture pluviale. A ce titre, les parcelles jugées les meilleures, c'est à dire les plus fertiles, les plus proches de la maison, mais aussi celles dont l'agriculteur est propriétaire, sont affectées à cette production. Les producteurs hésitent donc à pulvériser sur leurs sols les plus riches un produit considéré comme pénalisant la fertilité du milieu. Par contre, cette pratique ne pose aucun problème de conscience aux agriculteurs Mòns de la province de Kanjanaburi, qui louent leurs parcelles à l'année (cf. § 6.5)<sup>3</sup>.

Finalement, dans la zone de Lopburi, le contrôle de l'enherbement est resté une opération essentiellement manuelle, malgré le travail considérable que cela

---

<sup>1</sup> Herbicide de contact, le paraquat est la matière active la plus répandue et la moins chère en Thaïlande. C'est le seul pesticide synthétisé dans le pays; les autres sont importés puis reformulés sur place.

<sup>2</sup> Une protection est généralement utilisée pour éviter le contact du paraquat avec les feuilles de cotonniers (surface en bois ou en plastique appliquée contre le feuillage, système de protection sur la tête de pulvérisation, etc.).

<sup>3</sup> Ce phénomène, qui tient plus de la croyance que d'une réalité démontrée de manière rationnelle, est particulièrement flagrant pour la culture du soja dans la province de Lopburi. Contrairement aux 'itinéraires techniques cotonniers', ceux du soja sont essentiellement mécanisés. Le recours aux herbicides de prélevée est systématique pour cette dernière production. Cependant, les agriculteurs préfèrent planter le soja dans les terrains marginaux de leur exploitation ou sur des parcelles qu'ils louent à des voisins de peur d'altérer la 'fertilité' de leurs sols avec les herbicides de prélevée.

suppose. Ce goulet d'étranglement contribue à maintenir la compétitivité des petits producteurs, qui ont recours à la main d'oeuvre familiale. Par contre, les grosses exploitations préfèrent se tourner vers des productions moins coûteuses en main d'oeuvre. A Kanjanaburi, les surfaces cotonnières cultivées par chaque famille (d'ethnie Môn) sont si importantes que l'utilisation d'herbicides devient indispensable pour faire face à une charge en travail considérable.

### 6.3.6 La fertilisation

#### 6.3.6.1 Engrais au sol - engrais foliaire

Les producteurs de coton pratiquent deux types de fertilisation chimique<sup>1</sup> :

- Des engrais complets (NPK = 15:15:15) sont généralement appliqués au tout début de la phase fructifère, de 45 à 60 jours après le semis. Cette opération est souvent associée au sarclage et au buttage des plants après le démarrage. Un apport complémentaire d'urée est pratiqué par certains agriculteurs au cours de la fructification ou après une attaque de ravageurs afin de favoriser le processus de compensation. Les courbes en annexe 6.2-d montrent que cette technique est beaucoup plus développée à Kanjanaburi qu'à Lopburi. Cependant, elle reste faible par rapport aux doses recommandées, égales à 40 kg/ha d'azote. Moins de 30% des agriculteurs appliquent des doses supérieures à cette valeur à Kanjanaburi et ils sont moins de 10% à Lopburi. On note même dans cette dernière région, que plus de 30% des producteurs n'appliquent aucun engrais au sol. Ils ont recours à un autre mode de fertilisation : les engrais foliaires.
- Les engrais foliaires sont mélangés aux insecticides et pulvérisés selon la même fréquence que ces derniers. Tous les producteurs de coton pratiquent ce type de fertilisation, de façon plus ou moins intensive. Cependant, il est très difficile de comparer les produits utilisés ou les doses. Comme pour les insecticides il existe sur le marché un très grand nombre de marques commerciales de qualité très hétérogène. Souvent, la composition de l'engrais n'est même pas indiquée sur la bouteille. L'information sur la quantité de produit utilisée ou le coût de ce type de fertilisation apporte donc peu d'indication sur son effet probable sur l'élaboration du rendement.

---

<sup>1</sup> Nous n'avons relevé aucun apport de fumure organique en culture cotonnière au cours des enquêtes. Par contre, cette technique est utilisée pour les arbres fruitiers ou les cultures maraîchères par certains agriculteurs de la région de Kanjanaburi.

### 6.3.6.2 Fertilisation et protection

Nous avons cherché à évaluer l'impact, sur le rendement du cotonnier, des deux modes de fertilisation pratiqués par les agriculteurs : engrais au sol et engrais foliaires. Une expérimentation en milieu paysan a consisté à croiser trois niveaux de fertilisation aux trois niveaux de protection des essais phytosanitaires.

Cette expérimentation a été menée sur les sites de Saiyok et de Bongti, dans la province de Kanjanaburi, en 1991 (Figure 5.1)<sup>1</sup>. Chaque parcelle élémentaire portant les trois traitements (cf. § 5.2) : Non Protégé (NP), Protection sur Seuil (PS) et Protection Poussée (PP) a été divisée en trois, et un niveau de fertilisation a été affecté de manière aléatoire à chaque sous-unité :

NF = Non Fertilisé

FS = Fertilisation au Sol (300 kg/ha d'engrais complet 15:15:15, appliqué après le démarrage, soit 45 kg/ha de N:P:K)

FF = Fertilisation Foliaire (FS + 2 applications de 0,6 kg/ha d'engrais foliaire 32:6:6 à 25 et 32 jours après la levée + à partir de 40 jours, applications hebdomadaires en alternance de 350 g/ha de 11:11:11 et 1 kg/ha de 17:34:17; soit un total de 45 unités de N:P:K au sol et 1,2, 1,5 et 0,9 kg/ha de N:P:K en fertilisation foliaire).

Les données ont été collectées sur 18 parcelles élémentaires par site (3 niveaux de protection \* 3 niveaux de fertilisation \* 2 répétitions). Elles concernent la hauteur des plants (à 45, 60, 90 et 120 jours après semis), l'état nutritionnel de la plante (par dosage pétiolaire du N:P:K) et le rendement.

Le figure 6.7 montre que la fertilisation, comme la protection, ont un impact sur le rendement. L'effet bénéfique de la fertilisation est plus marqué sur le site de Saiyok que celui de Bongti. Ce phénomène peut être expliqué par la longue histoire agricole du premier site alors que le second, situé sur un front pionnier (il n'était défriché que depuis quatre ans), a conservé une teneur en matière organique et une richesse en éléments minéraux supérieures à celles de Saiyok. Cet argument est vérifié par les analyses de sol réalisées avant la mise en place des essais.

Il semble donc qu'un équilibre existe entre le 'bénéfice' agronomique de la fertilisation et le 'handicap' qu'elle représente, au delà d'un certain seuil, pour la protection phytosanitaire. CRETENET et VAISSAYRE (1986) définissent des courbes d'iso-rendement, fonctions des variations conjointes du nombre de pulvérisations insecticides et de la quantité d'engrais appliqué (Figure 6.8).

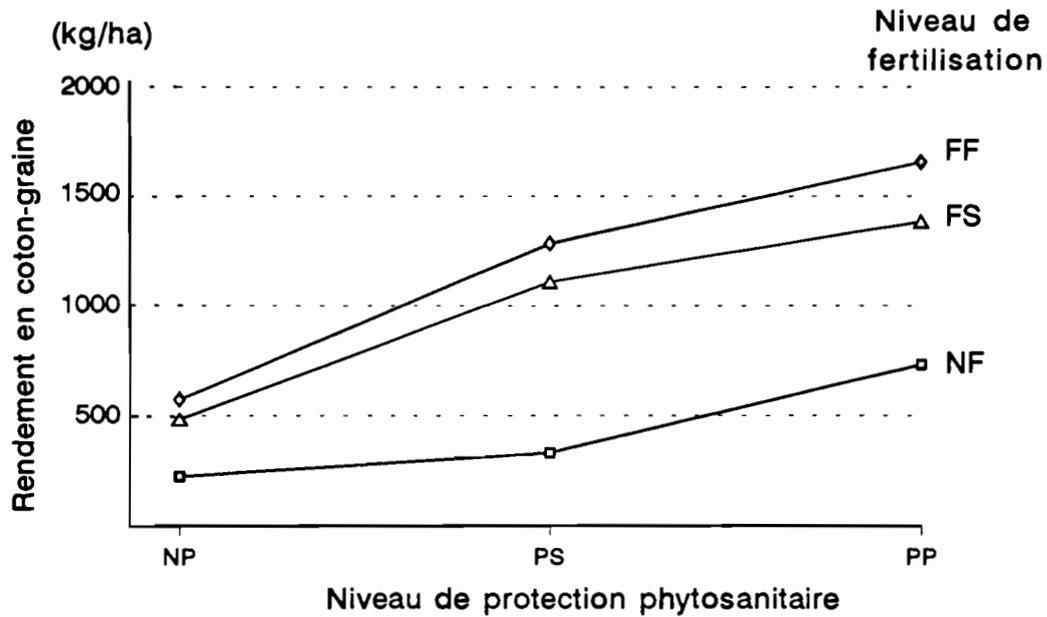
Les résultats expérimentaux de la figure 6.7 suggèrent que le bénéfice de la protection est supérieur lorsque la fertilisation est élevée. Ce phénomène pourrait

---

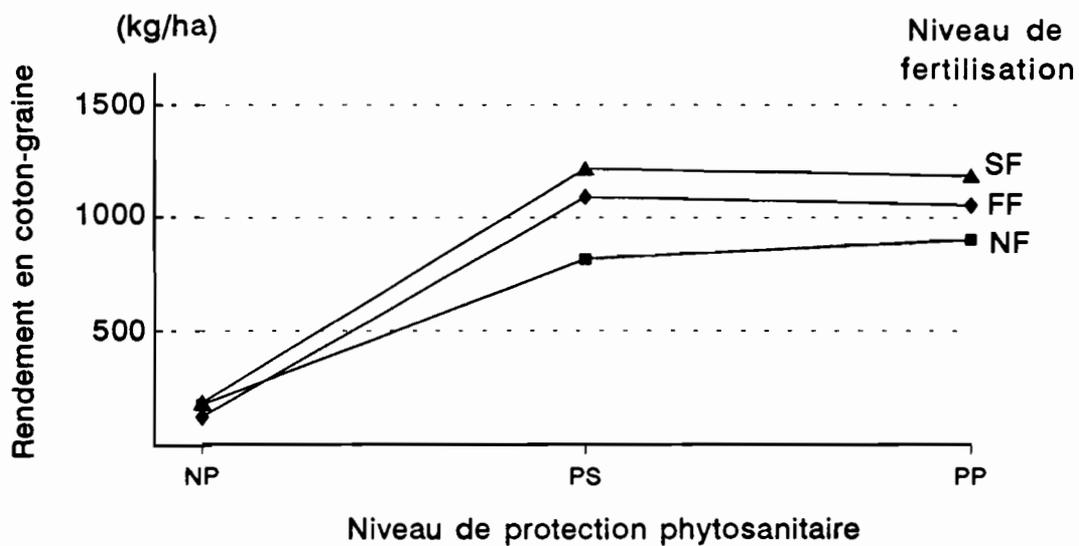
<sup>1</sup> Cet essai a été conduit par un étudiant de master de l'Université Kasetsart dans le cadre du projet DORAS (DURONGKITTIKULE, 1992).

**Figure 6.7.** Résultats des essais croisés 'fertilisation - protection' réalisés en 1991, par le projet DORAS, dans la zone de Kanjanaburi. La variété utilisée est Sri Samrong 2.

a) Site de Saiyok

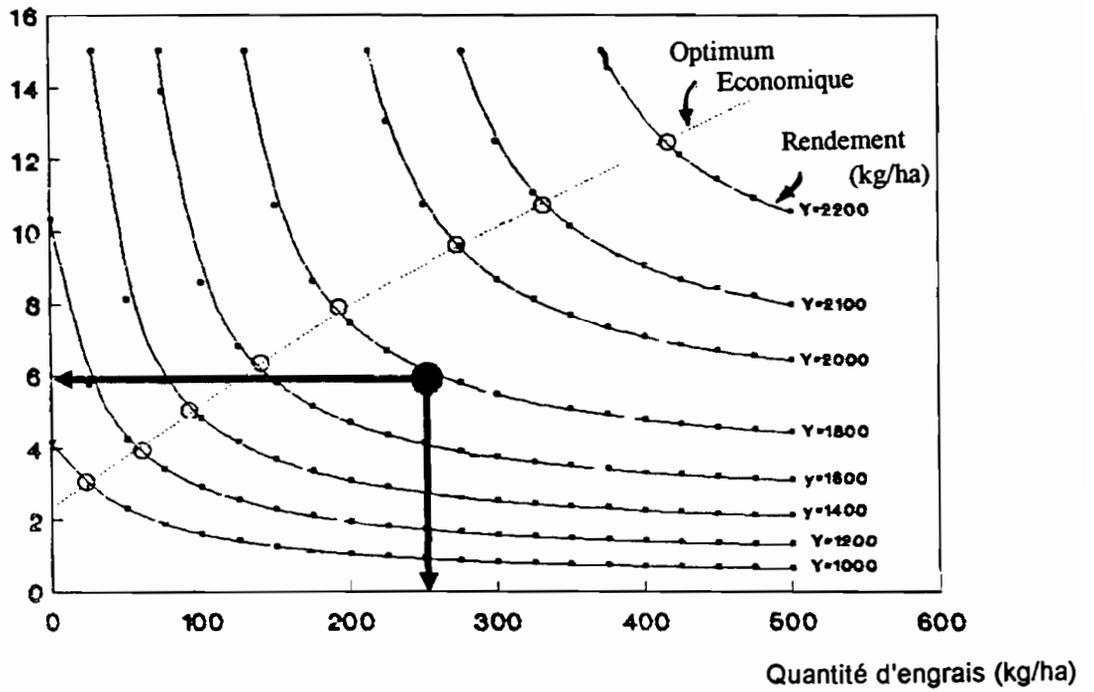


b) Site de Bongti



**Figure 6.8.** Courbes d'iso-rendement : interaction de la protection et de la fertilisation du cotonnier (CRETENET et VAISSAYRE, 1986).

Nombre de pulvérisations insecticides



être lié à une appétence accrue des cotonniers fertilisés pour les ravageurs (GENAY, 1994). Cependant, quel que soit le niveau de fertilisation, les parcelles non protégées sont plus touchées que les autres.

Cette dernière remarque explique certainement pourquoi les agriculteurs attachent une moindre importance à la fertilisation au sol. L'utilisation des engrais foliaires est plus facile à moduler en relation avec la protection de la culture, puisqu'ils sont pulvérisés en même temps que les insecticides. Une autre raison est qu'ils reviennent moins chers que les engrais au sol, car ils sont utilisés en plus faibles quantités.

### 6.3.7 La protection insecticide

Nous avons vu ci-dessus que différentes opérations culturales contribuent à moduler l'effet de la contrainte parasitaire sur l'élaboration du rendement. Aussi, la protection phytosanitaire ne se résume pas à la seule pulvérisation d'insecticides. Cependant, cette technique est souvent privilégiée par les agriculteurs car elle élimine la cause du dégât (les insectes ravageurs), alors que les autres méthodes (de nature agronomique) s'attachent à limiter les effets de ces dégâts sur le rendement (cf. § 2.3.4.3).

Le concept de lutte intégrée n'interdit pas un recours aux insecticides chimiques lorsque cela est nécessaire (CAUQUIL et VAISSAYRE, 1993). Le problème est de faire la part entre une **utilisation rationnelle** et une **surconsommation** de produits phytosanitaires. Le diagnostic de 'surconsommation' suppose que l'on dispose d'une **référence**, d'un **seuil** au delà duquel un abus peut être diagnostiqué. Il est donc indispensable de définir ce qu'est une protection rationnelle pour identifier les facteurs qui conduisent à une surconsommation d'insecticides.

#### 6.3.7.1 La gestion rationnelle des insecticides

Les dysfonctionnements observés en Thaïlande dans le domaine de la protection insecticide ont trois causes principales:

- une mauvaise perception du risque phytosanitaire associé à la présence d'insectes ravageurs (§ 2.3),
- des objectifs contradictoires entre agriculteurs et scientifiques,
- enfin, l'absence d'une norme technique reconnue à la fois par les agriculteurs, les chercheurs et les vulgarisateurs.

Ces trois points clefs ont été identifiés à partir des travaux réalisés à l'échelle de la région (Chapitre 4) et de la parcelle (Chapitre 5). Chacun d'eux donne un sens différent à la notion de 'surconsommation' d'insecticide.

### 6.3.7.1.1 La perception du risque phytosanitaire

La gestion rationnelle des insecticides est définie par rapport à un seuil économique d'intervention présenté au paragraphe 2.3.3. Le risque de dommage associé à la présence d'insectes ravageurs est évalué a posteriori (à la récolte) sur des parcelles expérimentales. En toute rigueur, on peut considérer qu'il y a surconsommation lorsque de l'insecticide est pulvérisé contre une attaque d'insecte qui n'aurait pas conduit à une perte de rendement. Mais au moment de l'intervention l'agriculteur ne dispose pas de l'information sur l'ensemble des événements biophysiques (pluies, nouvelles attaques de ravageurs, etc.) qui suivront et qui moduleront l'impact de la présente infestation sur le résultat final. Le risque lié à la non-intervention ne peut être analysé qu'a posteriori, introduisant une large part d'incertitude dans les décisions qui doivent être prises à un moment donné du cycle cultural.

### 6.3.7.1.2 Objectifs des agriculteurs - objectifs des scientifiques

La gestion rationnelle des insecticides se définit aussi par rapport à des objectifs de production, qui peuvent varier selon qu'ils sont formulés par l'agriculteur (en termes économiques, de risques, de facilité d'utilisation, etc.) ou par le chercheur (en termes écologiques, techniques, etc.).

### 6.3.7.1.3 L'écart à la recommandation

La référence la plus couramment invoquée pour porter un jugement sur la surconsommation d'insecticides est celle de 'la recommandation'. Cependant, contrairement à la plupart des pays producteurs de coton<sup>1</sup>, où existent des services de vulgarisation spécialisés dans cette culture, la comparaison à une norme a peu de sens en Thaïlande. Aucune valeur de référence n'est réellement prise en compte par les agriculteurs pour faire leurs choix techniques. Cette situation est due à un problème de transfert de l'information vers les producteurs (cf. § 2.3.4.3), mais aussi à l'imprécision du message technique (DOA, 1992). Sous prétexte de simplifier les recommandations (pour les mettre à la portée des agriculteurs mais aussi de vulgarisateurs non spécialistes du cotonnier), celles-ci perdent leur nature de référence. Il est en effet difficile de considérer les doses recommandées comme des *seuils* de 'ce qui est raisonnable' alors que leur valeur est comprise dans une *gamme de variation* très large<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Notamment en Australie, aux Etats-Unis (LUTTREL *et al.* 1991) et dans les pays d'Afrique de l'Ouest (LENDRES, 1992; NIBOUCHE et GOZE, 1993).

<sup>2</sup> La fourchette de recommandation pour les doses d'insecticide varie systématiquement du simple au double (d'une valeur n à 2n).

Finalement, l'absence d'une norme objective, reconnue à la fois par les agriculteurs et les vulgarisateurs, est déjà à la source du problème de surconsommation d'insecticide : on sait que les abus existent mais ils ne sont pas quantifiables par rapport à une référence locale.

### 6.3.7.2 Les facteurs responsables de la surconsommation d'insecticides

La confrontation entre (a) les références techniques disponibles à l'échelle internationale, (b) les recommandations des organismes de vulgarisation thaïs et (c) les pratiques des agriculteurs, permet d'identifier différents facteurs qui contribuent à la surconsommation d'insecticides (Tableau 6.2).

#### 6.3.7.2.1 Les recommandations des services de vulgarisation

On relève une inadéquation entre les solutions techniques (de plus en plus complexes) proposées par la recherche, et les moyens et connaissances (relativement faibles) dont disposent les agriculteurs. Pour pallier ce décalage, la vulgarisation a simplifié le message technique jusqu'à dénaturer son contenu.

Ainsi, **deux options** sont proposées pour le déclenchement des interventions : sur **calendrier** ou sur **seuil**. La grande majorité des agriculteurs choisissent la première, plus facile à mettre en oeuvre, mais qui va à l'encontre des références techniques disponibles aujourd'hui (cf. § 2.3.4).

Pour éviter aux agriculteurs le calcul d'une **dose par unité de surface**, la vulgarisation propose une **dose par pulvérisateur** de 20 litres. Cette recommandation est source d'erreur à plusieurs titres.

D'abord parce que tous les pulvérisateurs n'ont pas une contenance de 20 l. Le volume des appareils à main, mesuré au cours des enquêtes, est compris entre 17 et 20 l., celui des mistblowers<sup>1</sup> est d'environ 15 l. Certains agriculteurs, qui mélangent directement l'insecticide dans le pulvérisateur, surdosent de manière systématique.

Le second argument contre cette recommandation est lié au fait que les agriculteurs augmentent progressivement le volume d'eau en cours de saison (Figure 6.9). De 100 l/ha en début de cycle, ils pulvérisent jusqu'à 1000 l/ha à mesure que le couvert végétal se développe. En conservant la même dose pour 20 l. d'eau, l'agriculteur multiplie ainsi par 10 la quantité pulvérisée par hectare sans s'en rendre compte. Les enquêtes ont révélé que les producteurs, comme certains

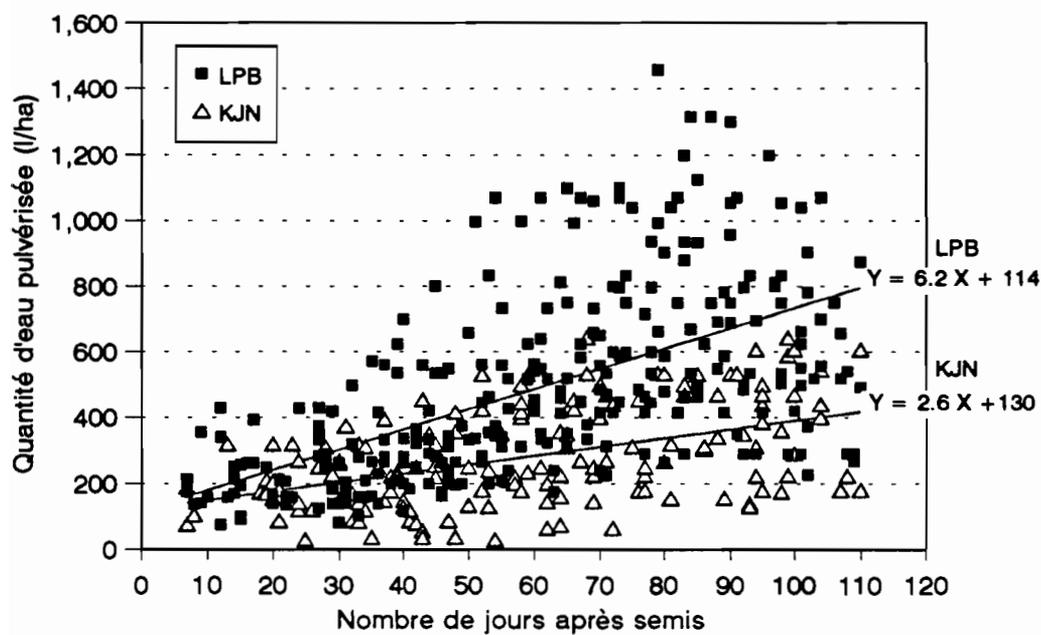
---

<sup>1</sup> Appareil de pulvérisation à dos équipé d'un moteur.

**Tableau 6.2.** Comparaison des références techniques australiennes, des recommandations thaïs et des pratiques des agriculteurs en matière de protection insecticide sur cotonnier.

Technique	Références techniques (CASTOR <i>et al.</i> , 1992)	Recommandations des services de vulgarisation thaïs	Pratiques des agriculteurs
Le déclenchement de l'intervention	Sur seuil d'infestation dynamique (varie en fonction des stades de développement et de l'histoire parasitaire de la parcelle). L'intervention est souvent décidée par des consultants professionnels équipés de logiciels d'aide à la décision.	Deux techniques sont recommandées : - sur calendrier : à partir du 7 <sup>e</sup> jour après la levée, intervalle minimal de 10 jours entre pulvérisations qui peut être réduit en fonction des attaques d'insectes, soit 12 à 20 traitements par saison. - sur seuil : pour <i>H. armigera</i> , 9 chenilles pour 30 plants de 30 à 60 jours après semis puis 6/30 plants. Pour les jassides : 1 larve par feuille jusqu'à 2 mois puis 2 larves/feuille (sur 5 feuilles par plant). 10 pucerons par feuille.	La grande majorité des agriculteurs traitent sur calendrier selon la première technique recommandée.  Quelques rares producteurs pulvérisent lorsqu'ils observent des attaques particulièrement fortes : soit un nombre d'interventions de 3 à 7 par saison. Possibilités de traitements préventifs lorsque le seuil n'est pas atteint mais qu'il existe des risques de pluie les jours suivants.
Le comptage des insectes ravageurs	Les insectes sont comptés tous les 4 à 5 jours.  Les oeufs et les stades larvaires les plus jeunes sont privilégiés, de façon à anticiper les infestations futures (en tenant compte de la mortalité naturelle connue).	Fréquence d'observation de 4 à 7 jours. 30 plants dispersés sont inspectés par hectare. Seules les larves sont comptées (pas les oeufs), pour faciliter le travail d'observation. Mais il est souvent trop tard pour intervenir sur les stades larvaires les plus avancés.	Les agriculteurs inspectent très souvent (presque tous les jours) leurs parcelles de cotonniers (généralement situées à proximité de la maison). Ils ne réalisent pas de comptage systématique des ravageurs mais acquièrent une impression générale de l'infestation.
Le choix de la matière active	Produits ovicides choisis en priorité, spectre d'action étroit. Sélection de la marque commerciale parmi une liste d'insecticides de qualité garantie. Pas de mélange de matières actives sauf avec les insecticides biologiques tels que le Bt. Alterner les groupes d'insecticides, et interdiction d'utiliser des pyréthrinoïdes à certaines périodes de l'année pour éviter les problèmes de résistance.	Alternance des insecticides. Classement des marques commerciales selon des critères de qualité non précisés.	Mélange systématique de plusieurs matières actives (de 2 à 6 types différents) pour élargir le spectre d'action du traitement phytosanitaire. Choix de produits commerciaux déjà mélangés. Distinguent deux groupes de produits : les insecticides systémiques (organochlorés, organophosphorés, carbamates, etc.) et les insecticides contact (pyréthrinoïdes).
Le dosage	Dose recommandée pour chaque ravageur : une valeur ou une gamme de variation très étroite, exprimée en litre de formulation par hectare.	Dose conseillée pour chaque type de formulation. Recommandation par groupe de ravageurs (piqueurs-suceurs, chenilles) et non pas par espèce. Dose exprimée en centilitre (ou en gramme) de formulation pour 20 litres d'eau.	Choix de la dose en fonction de la recommandation inscrite sur la bouteille (importante gamme de variation). Dosage au verre gradué fourni avec l'insecticide ou à la cuillère à soupe (forte imprécision). Augmentation de la dose par unité de surface en cours de saison avec la quantité d'eau pulvérisée.

**Figure 6.9.** Volume d'eau pulvérisé lors des traitements insecticides en fonction de l'âge des cotonniers. Ces données sont issues des enquêtes menées en 1992 et 1993 sur 64 itinéraires techniques dans les zones de Lopburi (LPB) et Kanjanaburi (KJN).



vulgarisateurs locaux, sont convaincus de ne pas changer le dosage par hectare en cours de cycle, puisque la quantité d'insecticide versée dans le pulvérisateur est toujours la même.

A chaque marque commerciale est associée une dose recommandée mais celle-ci n'est **pas spécifique d'un ravageur**. Ainsi, pour un produit donné, il n'existe par exemple qu'une dose conseillée pour l'ensemble des piqueurs-suceurs. Cette technique est un obstacle à une adaptation de la quantité d'insecticide utilisée à la composition du complexe de ravageurs.

Le rôle des services de recherche et de vulgarisation est aussi de **tester** les produits phytosanitaires et d'**informer** les utilisateurs sur leur **qualité**. Cependant, les résultats d'analyse ne sont pas mis à la disposition des agriculteurs et aucune mesure n'a été prise pour retirer de la vente les produits dont les critères de qualité ne correspondent pas à la réglementation. L'action du DOAE dans ce domaine consiste à classer quelques marques commerciales conformes aux normes de qualité<sup>1</sup>, dans sa brochure annuelle sur la protection du cotonnier.

Mais, pour la plupart des agriculteurs, la principale source d'information reste 'l'étiquette sur la bouteille d'insecticide'. Modes d'emploi et doses d'application préconisés par les firmes d'agrochimie poussent aussi à la consommation (§ 4.5).

#### 6.3.7.2.2 Les connaissances techniques des agriculteurs

Il est conseillé d'alterner les familles d'insecticides, de façon à éviter l'apparition de résistances<sup>2</sup>. Mais les agriculteurs ne font généralement pas la différence entre les notions de famille d'insecticides<sup>3</sup>, matières actives<sup>4</sup>, formulation insecticide<sup>5</sup> et marques commerciales<sup>6</sup>. Certains d'entre eux alternent donc des marques commerciales qui peuvent contenir des insecticides de la même famille, voire la même matière active. Les stratégies des compagnies d'agrochimie et le laxisme des autorités gouvernementales dans ce domaine, contribuent à entretenir cette situation (§ 4.5).

---

<sup>1</sup> Les marques répertoriées sont généralement produites par les compagnies internationales d'agrochimie, dont la qualité fait peu de doute. Par contre, aucune information n'est disponible officiellement sur les marques locales.

<sup>2</sup> Chaque famille d'insecticide agit en effet sur le même site d'action (Annexe 2.2).

<sup>3</sup> Organochlorés, organophosphates, carbamates, pyréthriinoïdes, etc.

<sup>4</sup> La molécule chimique insecticide

<sup>5</sup> Présentation des matières actives sous différentes formes (soluble, granules, poudre, etc.) et différents dosages (% de matière active).

<sup>6</sup> Nom commercial donné à un produit insecticide par la société de distribution dans une perspective de marketing. Il n'apporte pas forcément d'information sur la matière active ou le type de formulation.

Par contre les producteurs classent les insecticides selon leur mode d'action : systémique ou par contact avec le ravageur<sup>1</sup>. La perception par les agriculteurs de ce second type de produit, dont les pyréthrinoïdes sont le principal représentant, contribue aussi à la surconsommation d'insecticides et à la résistance d'*H. armigera*. Le terme de 'contact' suppose que le corps de l'insecte soit touché par l'insecticide. Pour favoriser ce 'contact', ils pulvérisent de fortes quantités d'eau (jusqu'à 1500 l/ha)<sup>2</sup>. Nous avons vu ci-dessus que la dose d'insecticide par hectare est proportionnelle au volume d'eau. Les quantités de produits phytosanitaires appliqués sont alors largement supérieures à la fourchette de recommandation (déjà très large) des services de vulgarisation. La majeure partie de l'insecticide est perdue avec l'eau, qui tombe inévitablement au sol à ces volumes de pulvérisation.

Le mélange des insecticides est, pour les agriculteurs, une manière de se prémunir contre les risques phytosanitaires liés à des produits de qualité douteuse. C'est aussi la façon la plus simple de traiter lorsqu'on ne dispose d'aucune information sur le profil parasitaire, notamment dans le cadre des programmes de pulvérisation sur calendrier. L'objectif est d'éliminer l'ensemble des ravageurs, toutes espèces confondues, en un seul passage. Mais cette pratique contribue à des déséquilibres écologiques majeurs puisqu'elle élimine aussi les insectes auxiliaires.

La raison invoquée par les agriculteurs pour justifier ces pratiques, dont ils savent combien elles sont dangereuses<sup>3</sup>, est la complexité des programmes de traitement sur seuil d'intervention. En effet, la mise en oeuvre des techniques recommandées suppose :

- a) de compter les insectes ravageurs, donc de les reconnaître. Cette étape pose problème à bon nombre d'entre eux. Ils font bien la différence entre piqueurs-suceurs et chenilles mais ne connaissent pas les espèces qui forment chacun de ces deux groupes (cf. § 2.2).
- b) de compter les stades de développement les plus précoces (oeufs, jeunes larves) de façon à anticiper les infestations de ravageurs. En effet, l'efficacité des insecticides diminue lorsqu'on avance vers les stades larvaires les plus âgés<sup>4</sup>. Mais les agriculteurs n'observent jamais les oeufs de Lépidoptères. Cette pratique demande beaucoup d'expérience mais aussi de temps.

---

<sup>1</sup> Des termes spécifiques existent en Thaï pour nommer les insecticides par leur mode d'action : systémique [ya doud sum] ou de contact [ya nok].

<sup>2</sup> Certains disent même qu'ils « lavent les cotonniers ».

<sup>3</sup> Pour la durabilité des systèmes cotonniers mais aussi pour leur santé.

<sup>4</sup> Il est inutile de pulvériser contre les chenilles d'*H. armigera* aux stades larvaires 4 ou 5

- c) d'observer fréquemment la parcelle (tous les 4 à 5 jours) pour ne pas manquer une pulvérisation. Un impasse sur un traitement peut laisser passer les chenilles aux stades larvaires supérieurs où elles sont moins sensibles aux produits phytosanitaires. L'agriculteur est alors rapidement pris dans l'engrenage des insecticides.

Par ailleurs, nous avons pu vérifier au cours des expérimentations en milieu paysan, que les interventions sur seuil tendent de plus en plus souvent vers des programmes sur calendrier. En effet, le processus de dégradation des équilibres écologiques a atteint un point tel, que le seuil d'intervention est dépassé à chaque observation. Dans un tel contexte, la protection insecticide elle-même n'a plus de sens, et les agriculteurs vont jusqu'à une collecte manuelle des chenilles. Cette pratique est devenue un complément indispensable aux autres techniques de protection pour certains types d'exploitations (cf. § 6.5).

**Le traitement des semences** par des insecticides systémiques représente une alternative aux pulvérisations aériennes, qui détruisent indistinctement les ravageurs et leurs prédateurs, et font courir des risques d'intoxication aux agriculteurs. De très faibles quantités de matière active protègent les jeunes cotonniers au début de la phase végétative (jusqu'à 30 à 40 jours après le semis) contre les attaques d'insectes piqueurs-suceurs. Cette technique préserve donc l'entomofaune auxiliaire pendant la période qui précède les attaques de chenilles. Cependant, elle est peu répandue parmi les producteurs enquêtés, ceci pour deux raisons principales :

- a) Les matières actives disponibles jusqu'à présent (DDT, Carbosulfan, Carbofuran, etc.) étaient relativement peu efficaces contre les jassides. Mais l'imidachlopride (un insecticide apparu récemment sur le marché) donne des résultats très prometteurs (GENAY *et al.*, 1993).
- b) Le coût élevé<sup>1</sup> du traitement fait courir un risque financier en cas de mauvaise levée. La date de semis devrait donc être adaptée en conséquence (cf. § 6.3.3.1)

En 1993, des agriculteurs de la zone de Kanjanaburi ont testé cette technique avec succès. Ils ont pu retarder la date de la première pulvérisation insecticide à 30 jours après semis alors qu'ils commencent généralement vers 7 à 10 jours.

Finalement, le recours aux insecticides est justifié dans le cadre d'une gestion raisonnée, mais il ne doit pas être systématique, sous peine de conduire au cercle vicieux de la surconsommation. Dans cette problématique, les agriculteurs sont 'montrés du doigt' comme les principaux coupables. Les travaux

---

<sup>1</sup> 30 Bahts pour 1 kg de semences non traitées contre 150 Bahts/kg pour un traitement à l'imidachlopride en 1993.

anthropologiques montrent qu'ils ont un attrait particulier pour l'utilisation d'insecticides (cf. § 2.3.4.3). Mais il semble que d'autres facteurs contribuent aussi à la surconsommation d'insecticides, notamment :

- a) les **contraintes écologiques** liées aux déséquilibres déjà atteints, qu'il est difficile d'inverser (résistance de insectes, etc.)
- b) les **problèmes techniques**, la recherche de simplification dans le message technique conduit les agriculteurs à la confusion.
- c) enfin les **contraintes socio-économiques**, avec les stratégies des acteurs en amont et en aval de la filière.

### 6.3.8 La récolte

Dernière opération technique de l'activité de production, la récolte a aussi des conséquences phytosanitaires.

En effet, le prix du coton-graine payé au producteur varie selon la date de vente (Figure 6.10). Or, le plus souvent la date de récolte et la date de vente sont étroitement liées, car les agriculteurs ne stockent pas leur récolte.

De multiples raisons peuvent être invoquées pour expliquer la vente rapide de la production.

- Lorsque le coton est mouillé (c'est souvent le cas pour les premières récoltes de chaque région : en septembre - octobre pour Lopburi et novembre pour Kanjanaburi), un stockage dans de mauvaises conditions fait courir le risque de pourriture ou de jaunissement de la fibre qui rendrait la production invendable par la suite.
- La plupart des petits agriculteurs ne disposent pas d'une capacité de stockage suffisante<sup>1</sup>; ils sont obligés de vendre la production au fur et à mesure des collectes successives de coton-graine.
- Enfin, de nombreux agriculteurs endettés auprès des « taokaes » cherchent à rembourser leurs dettes (en nature) le plus rapidement possible, afin de limiter le montant des intérêts à rembourser (3 à 5% par mois).

Finalement, les producteurs ont tout intérêt à semer tardivement s'ils veulent vendre la récolte à bon prix en fin de saison<sup>2</sup>. Or, nous avons vu qu'un semis

---

<sup>1</sup> Il n'est pas rare, en période de récolte de voir des pièces entières des maisons réservées au stockage du coton-graine. Toute la famille vit dans le coton jusqu'à ce que le prix augmente suffisamment ou que le manque d'espace devienne insupportable, et que l'agriculteur décide de commercialiser la récolte.



tardif a des conséquences négatives sur le potentiel agronomique de production et sur le risque phytosanitaire. Les agriculteurs doivent donc trouver un compromis entre un semis précoce, favorable au volume de production, et un semis tardif (et donc une date de récolte tardive) qui accroît le prix de vente du coton-graine.

### 6.3.9 Conclusion

#### 6.3.9.1 Sur les résultats

Pour conclure sur les résultats obtenus à travers l'analyse des pratiques culturales il convient de souligner deux points importants.

- Notre approche a montré une forte interdépendance entre les pratiques culturales. Il est donc délicat de toucher à l'une sans modifier les autres. D'autre part, il existe des combinaisons privilégiées de ces pratiques, qui sont autant de systèmes de culture. C'est à leur niveau que doit être abordée la problématique phytosanitaire.
- La protection de la culture est au centre des préoccupations des producteurs. Toutes les pratiques culturales s'articulent autour de cette priorité. La date de semis, la densité de peuplement, la fertilisation, le contrôle des adventices, etc. sont toutes, pour partie, des techniques phytosanitaires. Elles sont autant d'alternatives à la consommation abusive d'insecticides.

#### 6.3.9.2 Sur la méthode

L'approche, sous forme d'inventaire, des modes de conduite des systèmes cotonniers, souligne la diversité des pratiques culturales. Il est particulièrement difficile de les analyser par référence à un itinéraire technique vulgarisé, qui n'existe pas<sup>1</sup>.

Dans un tel contexte, nous avons privilégié l'analyse des interactions entre pratiques culturales, de manière à faire apparaître la cohérence des itinéraires techniques. En effet, si l'on analyse la protection phytosanitaire par rapport aux

---

<sup>2</sup> La précocité des deux variétés cotonnières cultivées en Thaïlande (Sri Samrong 2 et Sri Samrong 60) étant très proches, ils n'ont pas la possibilité de jouer sur le choix variétal pour moduler la durée de cycle en fonction de la date de semis.

<sup>1</sup> Le message technique est très vague, il passe mal auprès des agriculteurs. Par ailleurs, tous les acteurs de la filière jouent (plus ou moins ouvertement) un rôle de vulgarisation orienté selon leurs propres intérêts (compagnies d'agrochimie, commerçants locaux, égreneurs, agriculteurs voisins, etc.) (cf. chapitre 4).

connaissances scientifiques actuelles dans ce domaine, la plupart des pratiques des producteurs thaïs paraissent aberrantes. Mais une fois replacées dans le cadre du système de culture, elles prennent tout leur sens. Il est alors possible d'intervenir sur l'ensemble du système pour modifier les pratiques dont le bien-fondé est remis en cause<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Cette démarche est fondamentalement différente des méthodes utilisées dans d'autres contextes de production, en Afrique de l'Ouest par exemple, qui consistent à évaluer l'écart à la recommandation. Elles quantifient la fréquence relative des différentes pratiques paysannes pour une opération technique donnée (LENDRES *et al.*, 1992; SIGRIST, 1992). L'objectif est d'augmenter la fréquence correspondant à la technique vulgarisée. Les différentes opérations techniques peuvent donc être analysées de façon indépendantes par rapport à leur propre référence : la norme recommandée. Dans notre démarche, le référentiel est constitué par l'ensemble de l'itinéraire technique dans lequel la pratique culturale s'insère.

## **6.4 ANALYSE DES EFFETS DES STRATEGIES DE PROTECTION PAYSANNES SUR LES DEGATS D'INSECTES ET LE RENDEMENT**

### ***6.4.1 Introduction***

A l'interface entre les résultats expérimentaux, présentés au paragraphe 5.5, et les enquêtes sur les pratiques des agriculteurs (§ 6.3), nous allons étudier à présent l'effet des systèmes de culture paysans sur l'entomofaune et sur ses dégâts. Cette approche consiste à mettre en relation trois groupes de variables :

- Des combinaisons de pratiques culturelles privilégiées par les agriculteurs. Elles sont organisées sous forme d'une typologie des systèmes de culture.
- Des profils d'infestation des parcelles paysannes par les ravageurs et les adventices.
- Enfin, des indicateurs de production : le rendement et le nombre de capsules récoltées, ainsi qu'un facteur de réduction : le dommage parasitaire.

### ***6.4.2 Méthode***

#### **6.4.2.1 La nature des données**

Les données utilisées pour l'analyse multivariée sont issues des enquêtes en milieu paysan menées en 1992 et 1993 (cf. § 6.2). Au total, 32 parcelles cotonnières ont été suivies dans la province de Lopburi et 30 dans celle de Kanjanaburi. Chaque parcelle est considérée comme une combinaison unique de pratiques culturelles et de paramètres du milieu.

Les opérations techniques ont été enregistrées, selon une périodicité de 15 jours, tout au long du cycle cultural. Les indicateurs retenus pour caractériser les différents systèmes de culture sont les suivants<sup>1</sup> :

- *La date de semis*

Le jour de semis est exprimé en jours juliens. Nous avons vu au paragraphe 6.3.3 que les agriculteurs de la province de Kanjanaburi sèment plus tard que ceux de Lopburi, ceci notamment pour des raisons climatiques (Annexe 6.2-a). Un semis

---

<sup>1</sup> Leur choix découle des résultats présentés au paragraphe 6.3.

précoce ne correspond donc pas à la même période de l'année selon la région. Pour tenir compte de cette différence entre nos deux zones d'étude, nous avons établis deux valeurs seuils pour classer les semis précoces et les semis tardifs (le 4 Juillet pour Lopburi et le 14 Juillet pour Kanjanaburi, cf. Tableau 6.3).

- *La protection insecticide*

La variable retenue est la quantité totale d'insecticide utilisée au cours d'un cycle cultural. Le volume de formulation insecticide (matière active + solvants inertes) est exprimé en litres par hectare.

- *Le contrôle de l'enherbement*

Il s'agit du nombre total de désherbages effectués en cours de cycle, quel que soit la technique utilisée : mécanique, manuelle ou herbicide. Nous ne prenons pas en compte ici les modalités de réalisation de cette opération technique. En effet, nous nous intéressons seulement aux conséquences de ces pratiques, en termes de contrôle des adventices et d'impact sur le fonctionnement du peuplement végétal.

- *La fertilisation azotée*

C'est le nombre total d'unités d'azote par hectare, apporté par des engrais chimiques appliqués au sol<sup>1</sup>. Comme la plupart des agriculteurs utilisent des engrais complets équilibrés (NPK = 15:15:15), l'indicateur 'Azote' témoigne de la fertilisation NPK.

- *La fertilisation foliaire*

Il est difficile d'établir un indicateur d'utilisation des engrais foliaires, dans la mesure où la composition des différentes marques commerciales est généralement inconnue<sup>2</sup>. Le prix est par contre connu des agriculteurs. C'est pourquoi nous avons choisi de représenter cette variable par le coût total en engrais foliaire sur un cycle cultural (Baht/ha).

Les ennemis des cultures et le rendement sont évalués sur 4 placettes d'observation, marquées en début de cycle cultural sur chaque parcelle cotonnière. Chaque placette couvre une surface de 2,5 m<sup>2</sup> et comprend 5 poquets environ (soit un total de 10 m<sup>2</sup> et 20 poquets). Leur position dans la parcelle a été déterminée de manière aléatoire. Les données présentées ci-dessous correspondent systématiquement à la moyenne des 4 placettes.

- *Les infestations de ravageurs*

Les données concernant les attaques de ravageurs ont été collectées exactement de la même manière que sur les parcelles expérimentales (cf. § 5.2); la seule

---

<sup>1</sup> Seuls les engrais chimiques sont pris en compte, car aucun agriculteur n'a apporté de fumure organique.

<sup>2</sup> Les informations portées sur les bouteilles ne sont pas homogènes. Elles sont parfois même fantaisistes (cf. § 4.5).

différence concerne la fréquence d'observation<sup>1</sup>. Les variables J1, J2, J3 et Ch1, Ch2, Ch3 sont de même nature que celles traitées au chapitre 5 (Tableau 6.3).

- *Les infestations d'adventices*

Des notations d'enherbement ont été effectuées tous les quinze jours sur chaque placette d'observation. Elles sont réparties sur une échelle de 0 à 5 en fonction du degré de recouvrement du sol par les adventices<sup>2</sup>. La variable correspondante est la moyenne des notes obtenues sur toutes les observations réalisées au cours d'un cycle cultural (au nombre de 8 environ).

- *Le rendement*

Le rendement mesuré sur les placettes est comparé à celui de l'ensemble de la parcelle. Le nombre de capsules récoltées sur les placettes est ramené à une surface de 1 m<sup>2</sup>. Les trois variables RDT (rendement en coton-graine, kg/ha), NCR (nombre de capsules récoltées par m<sup>2</sup>) et DOM (dommage relatif d'origine parasitaire) qui en découlent sont identiques à celles du paragraphe 5.5 (Tableau 6.3).

#### 6.4.2.2 L'analyse des données

La méthode d'analyse des données d'enquête est identique à celle développée dans le paragraphe 5.5 dans le cas des expérimentations.

Elle est décomposée en trois étapes successives : le codage des variables, la classification ascendante hiérarchique, enfin l'analyse factorielle des correspondances.

Par ailleurs, les résultats obtenus dans les deux zones d'étude ont été analysés séparément. L'objectif est de prendre en compte les spécificités de chacune d'elle en ce qui concerne les systèmes de culture, le milieu bioclimatique ainsi que leurs interactions.

##### 6.4.2.2.1 Le codage des variables

Tous les indicateurs présentés ci-dessus sont transformés en variables qualitatives selon les règles de classement présentées au tableau 6.3.

---

<sup>1</sup> Hebdomadaire pour les expérimentations mais toutes les deux semaines ici.

<sup>2</sup> 0 correspond à une parcelle parfaitement propre alors que la note 5 est donnée à une couverture complète du sol par les adventices.

**Tableau 6.3.** Transformation des données quantitatives en variables qualitatives: limite des classes.

Variables	Unités	Modalités		
		Faible	Moyen	Fort
<i>Ennemis des cultures (ravageurs, adventices)</i>				
J1	logarithme neperien de l'aire sous la courbe d'infestation de jassides ( <i>A. biguttula</i> ) sur l'intervalle 30-60 jours après semis	< 2.6	2.6 - 4.2	> 4.2
J2	sur la période comprise entre 60 et 90 jours après semis	< 1.4	1.4 - 3.4	> 3.4
J3	sur la période comprise entre 90 et 120 jours après semis	< 2.2	2.2 - 3.8	> 3.8
Ch1	logarithme neperien de l'aire sous la courbe d'infestation de chenilles ( <i>H. armigera</i> ) sur l'intervalle 30-60 jours après semis	< 0.08		> 0.08
Ch2	sur la période comprise entre 60 et 90 jours après semis	< 0.7	0.7 - 1.7	> 1.7
Ch3	sur la période comprise entre 90 et 120 jours après semis	< 1.3	1.3 - 2.3	> 2.3
Adv	note moyenne d'enherbement sur une échelle de 0 à 5	< 0.3	0.3 - 1.1	> 1.1
<i>Pratiques culturales</i>				
DS-LPB	date de semis pour la zone de Lopburi (jours juliens)	< 04/07		> 04/07
DS-KJN	date de semis pour la zone de Kanjanaburi (jours juliens)	< 14/07		> 14/07
Insect	quantité d'insecticide pulvérisé (en litre de formulation par hectare).	< 7.8	7.8 - 13.8	> 13.8
Herb	nombre de déserbages	< 0.3	0.3 - 1.1	> 1.1
Azot	quantité d'azote apporté (kg/ha)	< 16	16 - 30	> 30
Ffol	coût total des engrais foliaires sur un cycle cultural (Baht/ha)	< 160	160 - 440	> 440
<i>Rendement - Dommage</i>				
RDT	rendement (kg/ha)	< 900	900 - 1300	> 1300
NCR	nombre de capsules récoltées par m <sup>2</sup>	< 22.5	22.5 - 42.5	> 42.5
DOM	dommage relatif d'origine parasitaire (NCRa-NCR)/NCRa (cf. Annexe 5.7)	< 0.36	0.36 - 0.60	> 0.60

**Tableau 6.4.** Comparaison des bornes des classes entre les données d'enquête et d'expérimentation pour les variables qui témoignent des infestations de ravageurs. Ce tableau combine les résultats présentés en Annexe 5.10 et Tableau 6.3.

Variables	Expérimentations			Enquêtes		
	Faible	Moyen	Fort	Faible	Moyen	Fort
J1	< 2.7	2.7 - 4.2	> 4.2	< 2.6	2.6 - 4.2	> 4.2
J2	< 3.7	3.7 - 5.2	> 5.2	< 1.4	1.4 - 3.4	> 3.4
J3	< 5		> 5	< 2.2	2.2 - 3.8	> 3.8
Ch1	< 0.3	0.3 - 2.3	> 2.3	< 0.08		> 0.08
Ch2	< 1.9	1.9 - 2.5	> 2.5	< 0.7	0.7 - 1.7	> 1.7
Ch3	< 1.9		> 1.9	< 1.3	1.3 - 2.3	> 2.3

#### 6.4.2.2.2 Typologie des systèmes de culture et profils de ravageurs

L'information est condensée à nouveau pour mettre en évidence des combinaisons privilégiées des deux groupes de variables 'infestations de ravageurs' et 'pratiques culturales'.

Des profils de ravageurs sont identifiés, de la même manière qu'au paragraphe 5.5, grâce à une classification ascendante hiérarchique. Les dendrogrammes présentés en annexe 6.3 permettent d'établir un nombre limité de groupes, reflétant les associations entre les six variables J1, J2, J3 et Ch1, Ch2, Ch3. Les deux variables ainsi créées, Clpb et Ckjn, sont caractérisées respectivement par quatre modalités pour le site de Lopburi et trois pour Kanjanaburi (Tableau 6.5).

La même méthode est utilisée afin d'identifier des combinaisons de pratiques culturales privilégiées par les agriculteurs, à partir des cinq variables décrites au tableau 6.3 : DS (date de semis), Azot (fertilisation au sol), Ffol (engrais foliaire), Herb (contrôles des adventices) et Insect (quantité d'insecticide appliqué). Les nouvelles variables (Tlpb et Tkjn) comprennent trois modalités pour chacune des zones d'étude (Tableau 6.6).

#### 6.4.2.2.3 Les tableaux de contingence et l'analyse factorielle des correspondances

Ces nouvelles variables sont introduites dans une analyse factorielle des correspondances multiples (BENZECRI, 1973, DERVIN, 1990). Cette méthode statistique permet d'étudier, sur chaque région, les relations entre les trois groupes de variables : 'systèmes de culture' (Tlpb et Tkjn), 'ennemis des cultures' (Clpb, Ckjn et Adv) et 'rendement' (RDT, NCR et DOM).

Comme au chapitre 5, nous avons créé des tableaux de contingence (Annexe 6.4 et 6.5), où chaque cellule à l'intersection de deux modalités, correspond au nombre de parcelles présentant conjointement ces caractéristiques.

### **6.4.3 Résultats**

Avant d'interpréter les résultats obtenus au cours des enquêtes sur les systèmes de culture cotonniers, une remarque préliminaire s'impose. Elle concerne la taille des échantillons sur lesquels nous avons travaillé (62 parcelles paysannes réparties en deux groupes : LPB et KJN). Les effectifs réduits n'autorisent pas dans tous les cas à conclure à des relations entre variables ou groupes de variables. Ils permettent cependant de caractériser des tendances et de

**Tableau 6.5.** Description des classes de profils de ravageurs (Clpb et Ckjn pour Lopburi et Kanjanaburi respectivement) issus de la classification ascendante hiérarchique.

Site	Variables <sup>a</sup>	Clpb1	Clpb2	Clpb3	Clpb4	$\chi^2_b$
LPB	J1	~	fort	faible-moyen	faible-moyen	16.8*
	J2	fort	fort	faible-moyen	~	21.7*
	J3	~	fort	~	faible-moyen	6.2*
	Ch1	faible	~	~	~	7.4*
	Ch2	faible-moyen	~	~	fort	9.1*
	Ch3	moyen	moyen	faible	fort	15.7*

Site	Variables <sup>a</sup>	Ckjn1	Ckjn2	Ckjn3	$\chi^2_b$
KJN	J1	~	~	~	3.3
	J2	moyen-fort	~	faible	13.9*
	J3	~	~	~	1.2
	Ch1	~	fort	~	4.2
	Ch2	faible	~	~	8.8*
	Ch3	faible	fort	moyen	42.8*

<sup>a</sup> : variables utilisées lors de la classification des profils parasites : elles sont représentées par leur modalité prédominante dans chaque profil.

<sub>b</sub> : valeur du khi-2 calculé pour chaque tableau de contingence Variable x Classe.

\* : valeur du khi-2 significatif au seuil de 5%.

~ : variable.

**Tableau 6.6.** Description des classes de pratiques culturales (Tlpb et Tkjn pour Lopburi et Kanjanaburi respectivement) issues de la classification ascendante hiérarchique.

Site	Variables <sup>a</sup>	Tlpb1	Tlpb2	Tlpb3	$\chi^2_b$
LPB	DS	précoce	tardif	~	9.5*
	Azote	~	~	~	2.0
	Ffol	fort	moyen	faible	40.2*
	Herb	~	~	~	1.8
	Insect	fort	faible-moyen	~	23.9*

Site	Variables <sup>a</sup>	Tkjn	Tkjn2	Tkjn3	$\chi^2_b$
KJN	DS	~	~	~	0.6
	Azote	fort	~	faible	17.3*
	Ffol	faible	fort	~	17.1*
	Herb	fort	faible	moyen	27.5*
	Insect	faible	moyen-fort	~	12.7*

<sup>a</sup> : variables utilisées lors de la classification des pratiques culturales : elles sont représentées par leur modalité prédominante dans chaque classe.

<sub>b</sub> : valeur du khi-2 calculé pour chaque tableau de contingence Variable x Classe.

\* : valeur du khi-2 significatif au seuil de 5%.

~ : variable.

proposer des hypothèses qui pourront être confirmées par les résultats expérimentaux présentés au chapitre 5 ou vérifiées grâce à l'enquête du paragraphe 6.5. Des tests de  $\chi^2$  sont systématiquement associés aux résultats, de manière à évaluer leur degré de signification statistique.

#### 6.4.3.1 Le codage des variables

Les mêmes variables J1, J2, J3 et Ch1, Ch2, Ch3 ont été utilisées pour l'analyse des données expérimentales (Chapitre 5) et des enquêtes en milieu paysan (Tableau 6.3). Cependant, les classes (fort, moyen, faible) déterminées pour chaque variable diffèrent entre enquêtes et expérimentations (Annexe 5.10 et Tableau 6.3). Les bornes des classes, déterminées en fonction de la gamme de variation de chaque variable 'ravageurs' (J1, J2, J3 et Ch1, Ch2, Ch3; cf. Annexe 5.8), sont supérieures sur les essais phytosanitaires par rapport aux résultats d'enquête (Tableau 6.4). Par exemple, une attaque de jassides en seconde phase (J2), classée dans le groupe 'moyen' pour l'analyse des essais, serait classée dans la catégorie 'fort' des enquêtes. Par contre, les gammes de variation du rendement sont similaires dans les deux cas : la modalité 'moyenne' correspond à  $700 < \text{RDT} < 1300$  sur les expérimentations et  $900 < \text{RDT} < 1300$  pour les enquêtes.

Ces résultats suggèrent que les infestations de jassides (notamment entre 60 et 120 jours après le semis), ainsi que de chenilles (de 30 à 90 jours après le semis) ont été généralement plus importantes sur les parcelles expérimentales que sur les parcelles paysannes suivies. Mais cette différence ne se traduit pas en terme de rendement, en raison sans doute, de l'écart entre essais et enquêtes pour les autres facteurs de production (date de semis, fertilisation, etc.).

Nous serons amenés à tenir compte, par la suite, de la différence de signification des modalités en terme de niveau d'infestation, selon qu'elles sont issues des enquêtes ou des expérimentations.

#### 6.4.3.2 Les profils de ravageurs

Nous allons d'abord étudier séparément les classes de ravageurs obtenues sur chacun des sites de recherche à l'issue de la classification ascendante hiérarchique. Nous verrons ensuite s'il existe des points de convergence (ou de divergence) entre les profils parasitaires identifiés.

**■ Lopburi**

Quatre classes ont été établies, qui correspondent à des tests de  $\chi^2$  significatifs pour chaque couple de variables (Tableau 6.5).

**Clpb1** est caractérisée par de fortes attaques de jassides en milieu de cycle. Les infestations de chenilles sont relativement faibles.

**Clpb2** correspond à des niveaux de population de jassides très élevés, tout au long du cycle cultural. Par contre les infestations de chenilles sont variables.

**Clpb3** est constituée de parcelles faiblement attaquées par les jassides en début et milieu de cycle, et par les chenilles en fin de cycle.

**Clpb4** représente des situations faiblement affectées par les jassides (notamment en début de cycle lorsque les cotonniers y sont particulièrement sensibles), mais très attaquées par les chenilles, spécialement en période de fructification.

**■ Kanjanaburi**

**Ckjn1** est un profil de ravageur marqué par des infestations de jassides, mais peu attaqué par les chenilles, notamment en période de fructification (milieu et fin de cycle).

**Ckjn2** correspond à des populations de jassides variables mais de fortes attaques de chenilles au début et à la fin du cycle cultural.

**Ckjn3** est caractérisé par de faibles attaques de jassides mais aussi par la présence de chenilles en fin de fructification. C'est en quelque sorte l'inverse de Ckjn1.

Ces profils de ravageurs semblent beaucoup moins tranchés que ceux identifiés à partir des essais phytosanitaires (Tableau 5.5). Ce résultat peut s'expliquer par une gamme de variation des infestations beaucoup plus étroite, dont témoignent des limites de classes inférieures à celles des expérimentations (Tableau 6.4). Mais l'objectif des essais était justement d'explorer les situations extrêmes interdites aux agriculteurs.

La classification fait émerger la contrainte 'jasside' comme un facteur discriminant important des profils de ravageurs, à Lopburi. Clpb1 et Clpb2 sont opposés à Clpb3 et Clpb4. Par contre, à Kanjanaburi, la contrainte 'chenille' contribue largement à différencier les modalités de Ckjn (Tableau 6.5).

### 6.4.3.3 Les combinaisons d'opérations culturales

La classification ascendante hiérarchique aboutit à trois types de combinaisons d'opérations culturales pour chaque zone d'enquête.

#### ■ *Lopburi*

**Tlpb1** correspond à un semis précoce et une forte utilisation conjointe d'engrais foliaire et d'insecticide.

**Tlpb2** est l'inverse du précédent : semis tardif et utilisation moyenne d'intrants.

**Tlpb3** regroupe les agriculteurs qui n'utilisent pas d'engrais foliaire.

#### ■ *Kanjanaburi*

**Tkjn1** donne une importance majeure à la fertilisation au sol et au contrôle de l'enherbement, peut être pour compenser une faible utilisation d'engrais foliaire et d'insecticide.

**Tkjn2** correspond à la situation inverse de Tkjn1, avec une forte consommation d'engrais foliaire et d'insecticide et un nombre limité de désherbages.

**Tkjn3** est caractérisé par de faibles apports d'engrais au sol, le reste de l'itinéraire technique étant variable.

Trois pratiques culturales discriminent fortement les types de systèmes de culture dans la province de Lopburi : la date de semis, la fertilisation foliaire et la protection insecticide. Nous avons déjà étudié les effets de deux d'entre elles (DS et Insect) sur les ravageurs et leurs dégâts, grâce aux expérimentations. Par ailleurs, l'analyse des pratiques de fertilisation foliaire doit tenir compte de la relation qui existe par nature entre Ffol et Insect puisque engrais et insecticides sont mélangés et pulvérisés en même temps (cf. § 6.3). A Lopburi comme à Kanjanaburi, ces deux variables sont liées.

L'association d'un semis précoce avec une forte utilisation d'insecticides et d'engrais foliaires (Tlpb1) est sans doute de nature structurelle, comme pour la relation Insect - Ffol. En effet, la précocité du semis augmente la durée pendant laquelle la culture est soumise aux attaques de ravageurs, donc la période où des traitements insecticides sont nécessaires pour contrôler ces ravageurs. Ainsi, les parcelles de type Tlpb2, qui correspondent à des semis plus tardifs, sont moins traitées aux insecticides et engrais foliaires.

La date de semis ne discrimine pas, à Kanjanaburi, les différents modes de conduite de la culture en raison, sans doute, de semis plus groupés dans le temps par rapport à Lopburi (§ 6.3). Par contre, la fertilisation au sol (Azot) joue un rôle plus important, ce qui confirme les résultats présentés en annexe 6.2-d. A Kanjanaburi, la variable 'Azot' semble liée à la variable 'Herb', comme 'Insect' est associée à 'Ffol'. Cependant, ces deux couples de variables sont opposés, suggérant par exemple que les agriculteurs de type T1pb1 cherchent à compenser une faible utilisation d'insecticides et engrais foliaires par la fertilisation au sol et le contrôle de l'enherbement.

Finalement, le point commun entre les zones de Kanjanaburi et Lopburi est que l'association 'Insect/Ffol' discrimine les classes de pratiques culturales. On retrouve ici l'importance accordée par les agriculteurs à la protection insecticide.

#### 6.4.3.4 Les résultats de l'analyse multivariée

##### 6.4.3.4.1 Description des axes de l'analyse factorielle

###### ■ *Lopburi*

L'axe 1 correspond à un gradient de rendements croissants. Les variables NCR, RDT et DOM contribuent dans une large mesure à cet axe (Tableau 6.7).

Il oppose par ailleurs T1pb3 aux deux autres modalités de cette variable (T1pb1 et T1pb2).

En projection sur cet axe, la variable Adv forme un gradient de sens opposé à celui du rendement. Une bonne maîtrise de l'enherbement est associée à des rendements élevés. L'axe 1 oppose par ailleurs des profils de ravageurs à forte contrainte 'chenille' (Clpb2 et Clpb4) à des situations caractérisées par de faibles infestations de cet insecte (Clpb1 et Clpb3).

L'axe 2 est formé par les variables T1pb1 et T1pb2, en opposition. Or, ces combinaisons d'opérations culturales se différencient principalement par les dates de semis. Ainsi, l'axe 2 peut être assimilé à un gradient de précocité du semis (avec T1pb1 précoce et T1pb2 tardif).

Les profils de ravageurs Clpb2 et Clpb3 présentent ensuite la plus forte contribution à cet axe, avec des signes opposés. Ces deux profils de ravageurs opposent par ailleurs des situations très attaquées par les jassides (Clpb2) à des parcelles peu infestées par cet insecte (Clpb3). L'axe 2 formalise en quelque sorte un gradient décroissant d'attaques de jassides.

**Tableau 6.7.** Analyse des correspondances multiples : qualité de la représentation des variables sur les deux premiers axes et contribution relative aux axes : zone de Lopburi.

Modalités	Effectifs	Coordonnées		Contribution relative (%)		Cosinus carrés	
		Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2
<b>Systèmes de culture</b>							
Tlpb1	14	0.20	0.96	0.7	25.5	0.032	0.714
Tlpb2	10	0.46	- 1.10	2.5	23.9	0.095	0.546
Tlpb3	8	- 0.93	- 0.31	8.3	1.5	0.285	0.031
<b>Profils de ravageurs</b>							
Clpb1	11	0.51	- 0.48	3.5	5.1	0.138	0.121
Clpb2	8	- 0.23	- 0.84	0.5	11.1	0.017	0.233
Clpb3	7	0.03	0.99	0.0	13.5	0.000	0.273
Clpb4	6	- 0.68	0.85	3.3	8.6	0.106	0.166
<b>Adventices</b>							
Adv1	9	0.64	0.15	4.5	0.4	0.162	0.008
Adv2	12	0.07	0.06	0.1	0.1	0.003	0.002
Adv3	11	- 0.60	- 0.18	4.8	0.7	0.190	0.018
<b>Rendement</b>							
RDT1	17	- 0.78	- 0.20	12.7	1.4	0.695	0.047
RDT2	15	0.89	0.23	14.4	1.6	0.695	0.047
<b>Nombre de capsules récoltées</b>							
NCR1	14	- 0.94	- 0.13	15.0	0.5	0.688	0.014
NCR2	18	0.73	0.10	11.7	0.4	0.688	0.014
<b>Domage</b>							
DOM1	16	0.68	- 0.30	8.9	2.9	0.460	0.091
DOM2	16	- 0.68	0.30	8.9	2.9	0.460	0.091

Si l'on interprète les résultats ci-dessus non plus axe par axe, mais pour chaque type de variables, on peut identifier des orientations privilégiées dans le **plan 1-2**.

Le gradient de **rendement**, de même direction mais de sens opposé à celui des **adventices** est supporté par l'axe 1.

Les **profils de ravageurs** sont décomposés selon deux gradients orthogonaux : une orientation 'contrainte chenilles', supportée par l'axe 1, et une orientation 'contrainte jassides', de même direction que l'axe 2 (Figure 6.11-d).

Les **combinaisons de pratiques culturales** peuvent aussi être interprétées selon deux orientations différentes : l'une, correspondant à un gradient de dates de semis, est parallèle à l'axe 2, l'autre assimilée à un gradient du couple de variables 'Insect/Ffol' est supportée par la première bissectrice des axes 1 et 2 (Figure 6.11-c). Projetées sur cette bissectrice dans l'ordre T1pb3, T1pb2 et T1pb1, les modalités de la variable T1pb forment un gradient croissant d'utilisation d'insecticides et d'engrais foliaires.

#### ■ *Kanjanaburi*

L'analyse factorielle sur les données de Kanjanaburi donne des résultats comparables aux précédents avec une forte contribution des variables de rendement à l'axe 1 (Tableau 6.8). L'axe 2 oppose Tkjn1 à Tkjn3, mais aussi les profils de ravageurs Ckjn1 et Ckjn3.

Les deux premiers axes contribuent à 79% de l'inertie avec des valeurs respectives de 69 et 10% pour le premier et le second.

Le même type de raisonnement que dans le cas de Lopburi conduit à identifier des orientations privilégiées dans le plan 1 - 2.

On retrouve le gradient de rendement, superposé à celui des adventices (mais de sens opposé) et parallèle à l'axe 1.

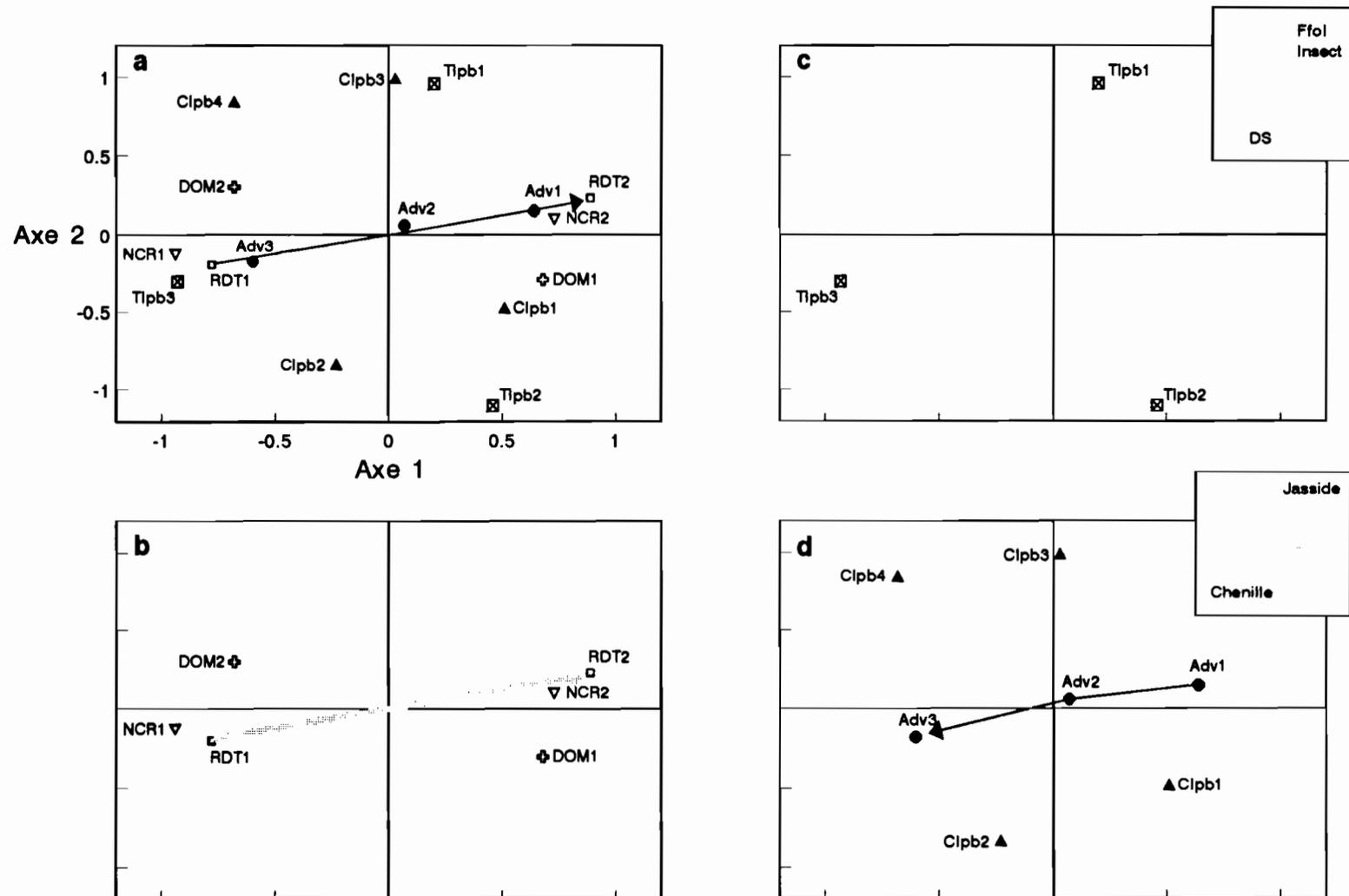
Les profils de ravageurs sont décomposés de la même manière selon (Figure 6.12-d):

- un gradient de 'contrainte chenille', parallèle à l'axe 1, qui oppose Ckjn2 (fortement attaqué) au couple Ckjn1, Ckjn3 (sensiblement moins touchés par les chenilles).
- un gradient de jassides, de même direction que l'axe 2, qui oppose Ckjn1 (fortement infesté entre 60 et 90 jours après le semis : J2 élevé) à Ckjn3, peut attaqué par les jassides en milieu de cycle.
- Enfin, les combinaisons de pratiques culturales peuvent être interprétées selon (Figure 6.12-c) :

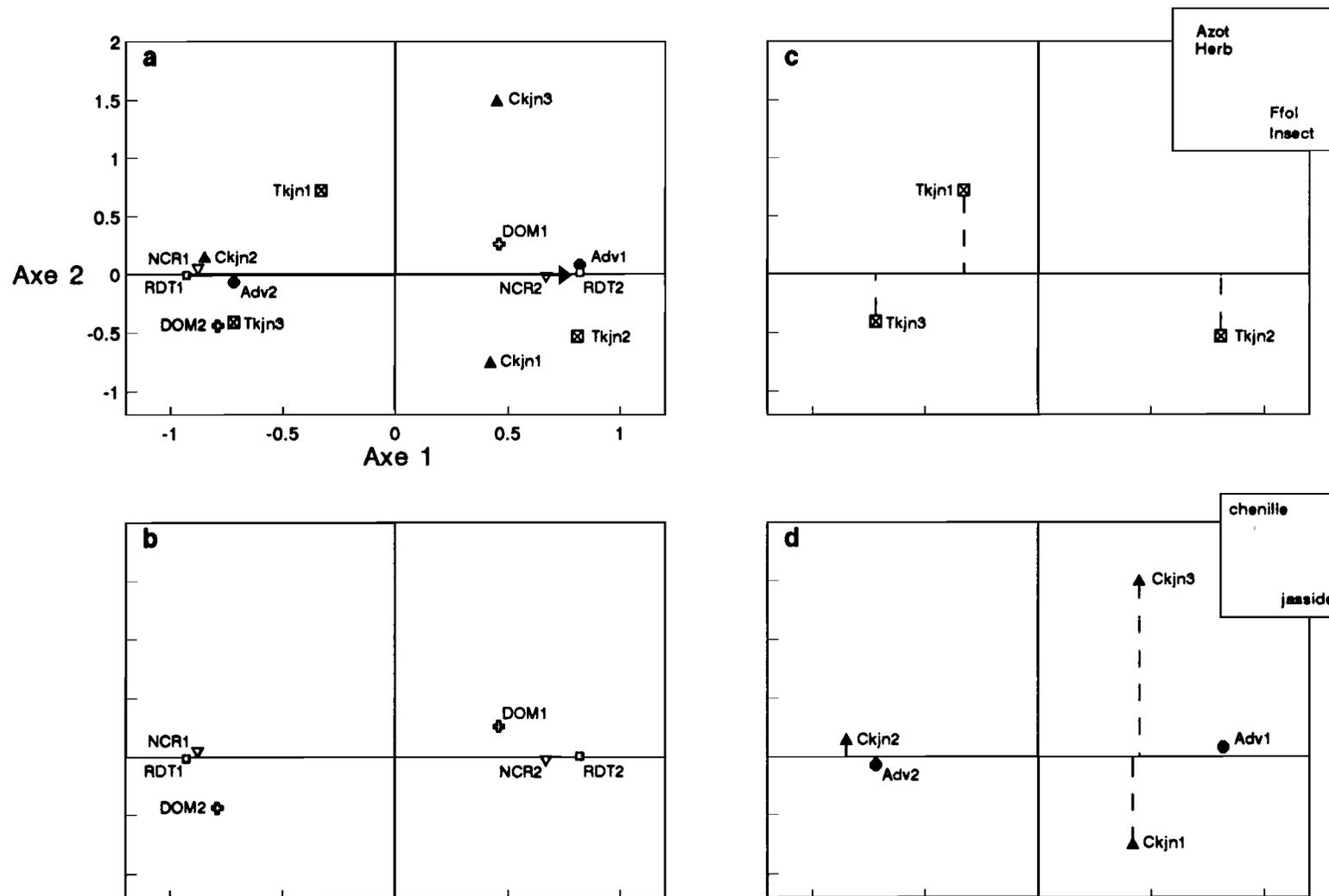
**Tableau 6.8.** Analyse des correspondances multiples : qualité de la représentation des variables sur les deux premiers axes et contribution relative aux axes : zone de Kanjanaburi.

Modalités	Effectifs	Coordonnées		Contribution relative (%)		Cosinus carrés	
		Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2
<b>Systèmes de culture</b>							
Tkjn1	12	- 0.33	0.72	1.4	17.7	0.072	0.350
Tkjn2	11	0.81	- 0.53	7.9	8.6	0.384	0.161
Tkjn3	7	- 0.72	- 0.41	3.9	3.4	0.157	0.052
<b>Profils de ravageurs</b>							
Ckjn1	14	0.42	- 0.75	2.6	22.0	0.152	0.489
Ckjn2	10	- 0.85	0.15	7.9	0.6	0.365	0.011
Ckjn3	6	0.45	1.50	1.3	37.7	0.051	0.560
<b>Adventices</b>							
Adv1	14	0.82	0.08	10.2	0.2	0.589	0.005
Adv2	16	- 0.72	- 0.07	9.0	0.2	0.589	0.005
<b>Rendement</b>							
RDT1	14	- 0.93	- 0.01	13.2	0.0	0.759	0.000
RDT2	16	0.82	0.01	11.5	0.0	0.759	0.000
<b>Nombre de capsules récoltées</b>							
NCR1	13	- 0.88	0.04	10.9	0.0	0.592	0.001
NCR2	17	0.67	- 0.03	8.4	0.0	0.592	0.001
<b>Domage</b>							
DOM1	19	0.46	0.26	4.3	3.5	0.358	0.114
DOM2	11	0.79	- 0.44	7.4	6.1	0.358	0.114

**Figure 6.11.** Lopburi : représentation graphique dans le plan 1-2 des résultats de l'analyse factorielle des correspondances multiples entre les trois groupes de variable: combinaison d'opérations culturales (Tlpb), ennemis des cultures (Clpb et Adv) et rendement (RDT, NCR, DOM). Le graphe (a) présente toutes les modalités de l'ensemble des variables introduites dans l'analyse. Il est ensuite décomposé par groupe de variables (b) rendement, (c) combinaison d'opérations culturales et (d) ennemis des cultures.



**Figure 6.12.** Kanjanaburi : représentation graphique dans le plan 1-2 des résultats de l'analyse factorielle des correspondances multiples entre les trois groupes de variable : combinaison d'opérations culturales (Tkjn), ennemis des cultures (Ckjn et Adv) et rendement (RDT, NCR, DOM). Le graphe (a) présente toutes les modalités de l'ensemble des variables introduites dans l'analyse. Il est ensuite décomposé par groupe de variables (b) rendement, (c) combinaison d'opérations culturales et (d) ennemis des cultures.



- un axe horizontal 'Insect/Ffol' (parallèle à l'axe 1), qui oppose Tkjn2 (fortement traité aux insecticides et engrais foliaires) à Tkjn3,
- un axe 'Azot/Herb' vertical (parallèle à l'axe 2), qui oppose Tkjn1 (caractérisé par une forte fertilisation et un contrôle intensif de l'enherbement) au couple Tkjn2, Tkjn3.

#### 6.4.3.4.2 Relations entre les pratiques culturales, le rendement et le dommage d'origine parasitaire.

A Lopburi comme à Kanjanaburi, les gradients de rendements croissants sont parallèles à la direction du couple de variables 'Insect/Ffol', et de même sens (en projection sur la première bissectrice à Lopburi : Figures 6.11, et sur l'axe 1 à Kanjanaburi : Figure 6.12). Ce résultat suggère que le rendement croît avec l'utilisation d'insecticides et d'engrais foliaires. Nous retrouvons la relation insecticide - rendement mise en évidence grâce aux expérimentations phytosanitaires. Par contre il est plus difficile de conclure, dans le cadre de cette analyse, sur le rôle des engrais foliaires, car ils sont systématiquement liés aux insecticides. Les expérimentations croisées protection - fertilisation présentées au paragraphe 6.3 montrent que ces deux opérations culturales contribuent conjointement à augmenter le rendement (Figure 6.7).

#### ■ *Lopburi*

A Lopburi, le dommage parasitaire peut aussi être analysé en projection sur le gradient 'Insect/Ffol' croissant. Il est peu surprenant de constater qu'une forte protection insecticide, associée à une fertilisation foliaire intensive, réduisent le dommage. Par contre, en projection sur l'axe des 'dates de semis' (parallèle à l'axe 2), les dommages importants (DOM2) sont associés à des dates de semis précoces. Des dates de semis précoces associées à une protection insecticide intensive maximisent donc le dommage parasitaire. Ce résultat explique pourquoi, à niveau de rendement équivalent (en projection sur l'axe 1), Tlpb1 conduit à des dommages parasitaires supérieurs à ceux de Tlpb2 (en projection sur l'axe 2). Tout se passe comme s'il existait deux manières différentes d'aboutir à un niveau donné de rendement :

- un semis précoce et des pulvérisations insecticides intensives (Tlpb1) maximisent le potentiel de production de la plante mais augmentent aussi les attaques de ravageurs.
- un semis tardif permet de réduire la période d'exposition de la culture aux ravageurs, et par voie de conséquence de diminuer l'utilisation d'insecticides (Tlpb2). Les expérimentations (Chapitre 5) ont montré que l'on obtient dans ces cas là moins de sites fructifères, mais qu'une utilisation judicieuse d'insecticides permet de limiter l'abscission des organes fructifères, pour aboutir finalement à des niveaux de rendements équivalents.

### ■ *Kanjanaburi*

Le même mode d'interprétation peut être appliqué dans le cas de Kanjanaburi, mais l'axe 'date de semis' de Lopburi est remplacé ici par un axe vertical 'Azot/Herb'. Les trois modalités de la variable Tkjn se projettent selon un gradient de rendement croissant dans l'ordre suivant : Tkjn3 - Tkjn1 - Tkjn2. Ces combinaisons de pratiques culturales correspondent aussi à une protection insecticide croissante sur l'axe 1 (cet axe est défini au § 6.4.3.4.1 comme un gradient 'Insect-Ffol').

Mais en projection sur l'axe 'Azot/Herb' (parallèle à l'axe 2), les classes Tkjn1 et Tkjn3 sont opposées, de même que DOM1 et DOM2. Ce résultat suggère qu'à rendements équivalents (Tkjn1 et Tkjn3 correspondent tous les deux à des rendements faibles, en projection sur l'axe 1), un apport d'engrais au sol et un meilleur contrôle de l'enherbement contribuent à réduire le dommage parasitaire. Cependant, il semble que l'effet des insecticides sur le rendement et le dommage masque partiellement le rôle de la fertilisation et des sarclages. En effet, l'impact de ces deux opérations techniques n'est observable que pour les faibles protections insecticides (associées aux rendements les plus faibles).

Cette analyse nous conduit à formuler des hypothèses sur les différences de pratiques culturales entre Lopburi et Kanjanaburi, qui peuvent justifier les écarts de rendements entre ces deux régions (Annexe 6.2-h).

Dans la zone de Lopburi, les agriculteurs ont la possibilité de jouer sur la date de semis pour moduler le dommage parasitaire, à protection insecticide égale. L'aptitude du cotonnier à compenser les dégâts d'insectes permet de trouver un équilibre entre le potentiel agronomique de production et les attaques de ravageurs pour atteindre un rendement objectif.

Dans la zone de Kanjanaburi, les conditions climatiques, la présence de précédents culturaux, etc. limitent la gamme des possibilités pour la date de semis (cf. § 6.3). La protection insecticide devient donc un facteur de productivité déterminant, qui permet d'atteindre les meilleurs rendements. Cependant, l'utilisation de produits phytosanitaires reste inférieure à celle enregistrée à Lopburi (Annexe 6.2-f), ce qui permet à certains agriculteurs de mieux valoriser la fertilisation et le contrôle des adventices. En effet, à protection insecticide égale, ils augmentent le potentiel de production de la culture par les engrais et les désherbages. Cette interprétation est confirmée par les expérimentations croisées protection - fertilisation, présentées au paragraphe 6.3.

#### 6.4.3.4.3 Relations entre les pratiques culturales et les infestations de ravageurs et d'adventices

##### ■ *Lopburi*

La projection des profils de ravageurs sur la première bissectrice du plan 1 - 2 (axe du couple de variables 'Insect/Ffol') classe les modalités de la variable Clpb selon un gradient croissant de protection insecticide. L'ordre de classement : Clpb2, Clpb4, Clpb1 et Clpb3, correspond à une maîtrise progressive et simultanée des deux contraintes 'jassides' et 'chenilles'. D'ailleurs, la bissectrice des axes 1 - 2 peut être assimilée sur le figure 6.11-d à la résultante de deux gradients décroissants 'jassides' (vertical) et 'chenilles' (horizontal).

De même, la variable 'Adv' projetée sur cette même bissectrice associe le contrôle croissant de l'enherbement au gradient d'utilisation d'insecticide et engrais foliaire. Or, ces opérations culturales n'ont pas d'effet direct sur les adventices. Par contre, nous avons remarqué au cours des enquêtes que le soin porté au désherbage était un indicateur des objectifs de production assignés par l'agriculteur à la parcelle cotonnière.

L'orientation 'date de semis' (Figure 6.11-c) est la même que celle de la contrainte 'jassides' (Figure 6.11-d), supportée par l'axe 2. Les dates de semis précoces sont associées à des profils de ravageurs caractérisés par de faibles attaques de jassides (Tlpb1). Ce résultat est cohérent avec les conclusions des expérimentations phytosanitaires (Chapitre 5).

##### ■ *Kanjanaburi*

On note sur l'axe 1 une nette opposition entre le gradient 'Insect/Ffol' d'une part et les contraintes 'chenilles' et 'adventices' d'autre part. Une protection insecticide croissante est associée à une maîtrise accrue des infestations de chenilles et d'adventices dans les parcelles. La relation semble évidente entre cette opération technique et le contrôle du ravageur, mais comme à Lopburi, elle l'est moins avec le contrôle de l'enherbement.

#### 6.4.3.4.4 Effet des profils de ravageurs et des adventices sur le rendement et le dommage

Un mauvais contrôle de la flore adventice est systématiquement associé à de faibles rendements (à Lopburi comme à Kanjanaburi). Cependant il est impossible de conclure s'il s'agit d'un effet direct des adventices sur l'élaboration

du rendement<sup>1</sup>, ou si l'enherbement n'est qu'un révélateur du manque de soin apporté à l'ensemble de l'itinéraire technique.

Le point commun entre Lopburi et Kanjanaburi est que les faibles rendements correspondent dans tous les cas à des profils parasitaires à forte contrainte chenille (Clpb4, Ckjn2). Ce phénomène apparaît lorsque l'on projette les profils parasitaires sur l'axe 1, qui supporte un gradient de rendement (Figure 6.11-d et Figure 6.12-d).

#### **6.4.4 Discussion**

##### **6.4.4.1 Sur les résultats**

La principale information tirée de la comparaison entre les résultats des essais phytosanitaires et ceux des enquêtes en parcelles paysannes concerne l'importance relative de chacun des ravageurs, jasside et chenille, sur les pratiques des agriculteurs et sur le rendement.

Nous avons montré au chapitre 5 que les jassides sont la principale contrainte en terme de dommage, mais que les chenilles émergent lorsque ce premier obstacle est levé.

Il semble bien que les agriculteurs soient parvenus à contrôler les infestations de jassides, principalement grâce aux insecticides. En effet, si la date de semis a une influence sur les attaques de jassides et sur la sensibilité des jeunes plants à ce ravageur, elle ne semble pas jouer de rôle particulier sur le rendement. Le semis précoce correspond plutôt à une stratégie de prévention contre les dégâts de chenilles. En effet, cette opération technique augmente le potentiel de formation de sites fructifères sur le cotonnier, qui peut supporter de plus fortes attaques. Un cycle cultural prolongé favorise par ailleurs le phénomène physiologique de compensation, après des abscissions parasitaires d'organes fructifères.

Cependant, les combinaisons de pratiques culturales privilégiées par les agriculteurs associent généralement les semis précoces à de fortes consommations d'insecticides et à l'inverse les semis tardifs à de faibles utilisations de produits phytosanitaires. D'après ce que nous venons de voir, un semis précoce devrait, au contraire, permettre de réduire les traitements insecticides grâce aux possibilités de compensation. Mais une hypothèse explicative est que le semis précoce accroît aussi la période d'exposition de la culture aux dégâts de ravageurs. Les toutes premières pulvérisations insecticides, orientées contre les jassides, contribuent à

---

<sup>1</sup> par le biais de la compétition entre les cotonniers et les mauvaises herbes, le rôle de réservoir de parasitisme joué par les adventices, etc.

éliminer les insectes prédateurs des chenilles d'*H. armigera*, et par voie de conséquence à accroître les effectifs des populations du ravageur à chaque génération. Un cycle cultural prolongé peut donc supporter plus de générations, donc, des attaques de plus en plus fortes, auxquelles sont appliquées des doses toujours supérieures d'insecticides.

Finalement, l'association 'semis précoce - insecticides' contribue à la fois à compenser les dégâts de chenilles et à augmenter les attaques de ce ravageur. Ces phénomènes antagonistes ont des conséquences limitées lorsqu'ils sont circonscrits sur une même parcelle. En effet, les résultats expérimentaux du chapitre 5 ont montré que des attaques des chenilles en fin de cycle cultural ont peu de conséquences en terme de dommage. Par contre, les transferts de populations du ravageur sur des parcelles voisines semées tardivement peuvent entraîner des dégâts considérables sur ces dernières.

Les engrais foliaires, associés aux produits phytosanitaires, jouent en quelque sorte le même rôle que la date de semis. Ils favorisent la croissance végétative, à la base du phénomène de compensation, et ils contribuent à allonger le cycle cultural (§ 2.1).

#### 6.4.4.2 Sur la méthode

L'échantillonnage des parcelles cotonnières avait pour objectif d'explorer une large gamme de situations. De même, la méthode d'analyse, fondée sur une classification automatique des pratiques culturales, a visé à faire émerger des situations extrêmes. En effet, les correspondances recherchées entre combinaisons d'opérations techniques, profils parasitaires et rendement apparaissent plus clairement lorsque les modalités des pratiques culturales sont très contrastées, c'est à dire, lorsque les gammes de variations sont importantes.

Cette méthode d'analyse est bien adaptée pour identifier des relations entre pratiques culturales, puis établir des rapprochements entre combinaisons de techniques et attaques de ravageurs. L'analyse factorielle des correspondances a permis d'aborder les associations de pratiques culturales<sup>1</sup> en terme d'impact sur le rendement et le dommage parasitaire, sans a priori sur les autres déterminants des systèmes de culture cotonniers.

Finalement, cette analyse constitue une étape préliminaire destinée à resituer les pratiques paysannes dans leur contexte agro-écologique et d'émettre des hypothèses quant à leur cohérence. Mais la réponse au **pourquoi** des systèmes de culture actuels ne se limite pas à la parcelle cultivée. L'exploitation est le cadre de décision privilégié par l'agriculteur. Les solutions apportées aux problèmes

---

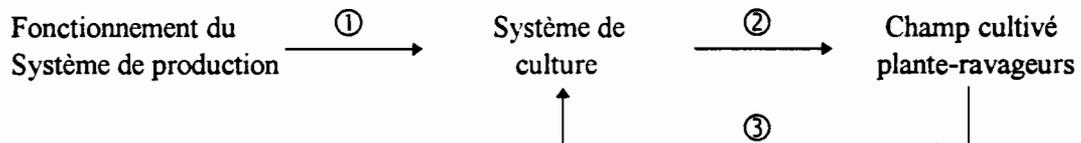
<sup>1</sup> et non pas des opérations techniques considérées individuellement comme au paragraphe 6.3.

phytosanitaires sont généralement subordonnées aux moyens de production disponibles, et aux objectifs assignés à la culture cotonnière dans la gestion globale du système de production.

## 6.5 COMPREHENSION DES SYSTEMES DE CULTURE COTONNIERS PAR LE FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DE PRODUCTION

### 6.5.1 Introduction

L'agriculteur est l'acteur clef de la protection phytosanitaire. A l'interface entre le système de production et la parcelle, c'est lui qui met en oeuvre l'itinéraire technique.



Le schéma ci-dessus est comparable à celui présenté au paragraphe 4.1, qui recherche les déterminants des pratiques culturales des agriculteurs dans les interactions entre (i) les transformations du contexte socio-économique et (ii) l'évolution de l'environnement agro-écologique de la production.

Mais nous sommes passés, à présent, de l'échelle régionale à celle de l'exploitation agricole. La 'variable expliquée' n'est plus un ensemble de pratiques phytosanitaires (jugées dangereuses pour l'avenir de la culture cotonnière), mais des combinaisons de techniques culturales : les systèmes de culture. A l'échelle de la parcelle, les modes de conduite de la culture sont déterminés en fonction des deux cadres de contraintes suivants :

- les interactions entre les états du milieu et le fonctionnement du peuplement végétal. Nous avons vu que les systèmes de culture permettent de moduler ces interactions : flèche ② (§ 6.4) et qu'à l'inverse l'agriculteur adapte son itinéraire technique selon son expérience et sa perception du milieu biophysique : flèche ③ (§ 6.3).
- le fonctionnement du système de production détermine le rôle assigné à la culture cotonnière au sein de l'exploitation et oriente les décisions prises au jour le jour pour la conduite de la culture : flèche ①.

Nous allons à présent étudier ce second point. L'objectif est de comprendre la diversité des pratiques agricoles, concernant la culture cotonnière, replacées dans le contexte global du système de production

### 6.5.2 Méthode

Des **enquêtes** ont été menées en 1991 sur 27 exploitations de la région de Kanjanaburi, par une équipe **pluridisciplinaire** du projet DORAS, constituée de sociologues, vulgarisateurs, agro-économistes et agronomes<sup>1</sup>. En 1993, 30 exploitations de la province de Lopburi ont été enquêtées selon la même méthode par un étudiant de l'Université Kasetsart (PANBOUA, 1994) et par l'auteur.

L'**échantillonnage** s'est attaché à maximiser la diversité des situations et des stratégies de production. Le choix des exploitations a été guidé par les résultats de l'analyse régionale (Chapitre 4). Environ la moitié d'entre elles pratiquaient la culture cotonnière. Elle ont été intégrées à l'enquête 'systèmes de culture cotonniers' (§ 6.2).

Trois à quatre **entretiens** avec l'agriculteur, suivis d'une **visite** de l'exploitation ont permis d'aborder les différents aspects de son fonctionnement. Le guide d'enquête utilisé (CAPILLON et MANICHON, 1988) propose une approche du système de production, articulée autour des trois niveaux d'analyse suivants :

- le niveau global met en relation l'évolution de l'appareil de production avec le cycle de vie de la famille. Il aborde l'histoire de l'exploitation et les objectifs de l'agriculteur à long terme (revenu, qualité de vie, statut social, succession, etc.).
- le niveau stratégique détermine les orientations à moyen terme du système de production. Il conditionne le choix d'une combinaison d'activités (élevage, productions végétales, activités hors exploitations, etc.) ainsi que les moyens mis en oeuvre (équipement, main d'oeuvre, financements) pour atteindre les objectifs du groupe familial.
- le niveau tactique concerne la conduite au jour le jour de cet ensemble d'activités. Il met en cohérence les techniques de production sous forme de systèmes de culture ou d'élevage (CAPILLON, 1993).

La connaissance acquise sur la diversité du fonctionnement des exploitations agricoles est organisée sous forme de **typologie**. Les systèmes de production sont classés selon des critères qui témoignent des **grandes orientations de l'unité de production**, des **objectifs** de l'agriculteur ainsi que des **stratégies** mises en oeuvre afin de les atteindre.

La dernière étape de cette démarche consiste à **valider** la typologie sur un nouvel échantillon d'exploitations, plus large que le précédent. Les critères de classification des systèmes de production, deviennent les questions d'une enquête rapide. En 1993 et 1994, un total de 823 exploitations ont ainsi été enquêtées dans la province de Lopburi et 538 dans celle de Kanjanaburi. Les résultats obtenus permettent d'évaluer la **fréquence** de chaque type d'exploitation identifié dans l'étape précédente. Les enquêtes rapides sont aussi utilisées pour affiner la typologie et repérer des situations qui pourraient échapper au premier échantillonnage (sur 30 exploitations seulement).

---

<sup>1</sup> dont l'auteur du présent document.

### 6.5.3 Typologie des systèmes de production cotonniers

La typologie des systèmes de production cotonniers, telle qu'elle est proposée ici, a été établie en deux temps.

- Deux typologies (une pour chaque région d'étude) ont d'abord été réalisées, selon la méthode présentée ci-dessus, sur des échantillons représentatifs de la diversité des systèmes de production régionaux (Annexe 6.6 et 6.7). Parmi eux, nous avons retenu les catégories qui produisent, ou susceptibles de produire, du coton.
- Enfin, nous avons créé de nouvelles classes regroupant des systèmes de production, dont les logiques ou les orientations conduisent aux mêmes stratégies cotonnières. La pertinence de ces critères de sélection, pour différencier plusieurs types de protection phytosanitaire, a été établie grâce au suivi agronomique présenté au paragraphe 6.2.

Cinq types d'exploitations ont ainsi été identifiés en fonction du rôle joué par la culture cotonnière (Tableau 6.9). Le type (C) est spécifique de Kanjanaburi et le (E) de Lopburi, mais l'on retrouve les trois autres dans les deux provinces.

Le **type A** regroupe de petites exploitations caractérisées par une disponibilité importante en main d'oeuvre familiale mais très limitées en capital. Malgré une augmentation constante des coûts de production, qui tendent à réduire leur marge de bénéfice et accroître le risque d'échec financier, ils continuent à produire du coton car ils n'ont pas d'alternative plus rémunératrice par unité de surface dans les conditions agroécologiques locales (agriculture pluviale). Leur itinéraire technique vise à minimiser le risque par une très faible utilisation d'intrants (pas d'engrais, interventions en protection de la culture sur seuil économique, sous-dosage de formulations insecticides de qualités douteuses). Ils parient sur une "bonne saison cotonnière" (faible pression parasitaire, répartition régulière des pluies au cours du cycle cultural) pour dégager quelque bénéfice et dans le pire des cas éviter de perdre le capital investi. Un revenu complémentaire est généralement recherché hors exploitation dès la fin de la saison des pluies.

Les agriculteurs de **type B**, aussi à la tête de très petites structures d'exploitation, ont recours à la culture cotonnière pour maximiser le revenu familial sur une surface cultivable disponible représentant le principal facteur limitant. Une application hebdomadaire d'un cocktail insecticide de qualité supérieure mais particulièrement coûteux (matières actives formulées par les firmes multinationales d'agrochimie) vise à éviter tout risque d'attaque inattendue et incontrôlable d'insectes ravageurs. Cette stratégie fondée sur la monoculture cotonnière présente de hauts risques économiques en raison du capital investi, notamment en protection phytosanitaire (environ 80% du coût des intrants). Tous les efforts d'une saison peuvent être anéantis par une soudaine explosion des populations de ravageurs, conséquence dramatique de ce type de protection peu respectueuse des équilibres écologiques entre les insectes nuisibles et leurs prédateurs. Il n'est pas rare de voir ce type

**Tableau 6.9.** Principales caractéristiques des systèmes de production cotonniers des deux zones d'étude et leur fréquence relative.

Type de Système de Production (SdP)	A	B	C	D	E
<b>Fréquence (% des SdP cotonniers totaux)</b>					
zone de Kanjanaburi	10	5	70	15	0
zone de Lopburi	10	20	0	50	20
<b>Caractéristiques des SdP</b>					
- Surface cultivée par actif familial (ha)	3 - 5	1 - 2	1 - 2	3 - 5	> 8
- % surface coton/surface totale	40 - 60%	> 70%	95 - 100%	5 - 20%	< 10%
- Travail (F=Familial, S=Salarié)	F seulement	F > S	F > S	F > S	S > F
- Equipement pour traitement insecticide	Manuel / Pulvérisateur à dos	Moteur / Pulvérisateur à dos	Moteur / Pulvérisateur à dos	Pompe sur petit tracteur	Pompe sur gros tracteur
<b>Capital</b>					
- Coût insecticide (# kg coton graine/ha)	50 - 80	400 - 600	300 - 800	200 - 400	300 - 500
- % coût insecticide/coût total	30 - 50%	60 - 80%	40 - 70%	50 - 70%	60 - 80%
<b>Objectifs socio-economiques en production cotonnière</b>	risque minimum, économie de temps pour activités hors de l'exploitation.	maximisation du revenu agricole par unité de surface.	réduire la dépendance économique vis-à-vis des commerçants locaux	maximisation de la productivité du travail familial	maximisation du profit
<b>Indicateurs de conduite de la parcelle cotonnière</b>					
- Date de semis	début Juin	début Juin	début Juillet	fin Juillet	début Juillet
- Densité (x 1000 plants/ha)	10 - 15	18 - 25	21 - 23	18 - 25	12 - 16
- Nombre de pulvérisation insecticide	3 - 7	10 - 15	10 - 20	8 - 12	8 - 12
- Quantité d'insecticide (l/ha)	2 - 5	12 - 20	10 - 30	7 - 15	12 - 20
- Rendement (kg coton graine/ha)	150 - 800	1500 - 3000	1000 - 1500	1500 - 2500	1000 - 2000

d'agriculteur dans l'obligation de céder son exploitation au commerçant local, pour rembourser ses dettes après une "mauvaise" saison.

Le **type C** est largement représenté dans la zone de Kanjanaburi comme dans toutes les régions frontalière de Thaïlande. Il est constitué de migrants en situation illégale (des Mòns originaires de Birmanie dans la province de Kanjanaburi) qui se mettent en position de dépendance économique et judiciaire vis à vis de commerçants locaux. Un système de culture relais maïs - coton leur est imposé par leur "protecteur", de même que l'utilisation d'intrants à des taux de crédit élevés (3 à 5% par mois). Ces agriculteurs utilisent de fortes quantités de pesticides, souvent à tort et à travers<sup>1</sup>, qui leur font courir des risques d'empoisonnement considérables. Ils reçoivent des conseils techniques de leur intermédiaire de culture dont l'objectif est de maximiser la consommation d'intrants et le rendement par la même occasion, car ce dernier dégage une marge importante sur chacun d'eux. Les pratiques culturelles en matière de protection ne sont évidemment ni écologiquement, ni économiquement durables mais leur existence est directement liée à la relation sociale de dépendance.

Le **type D** est caractérisé par une diversification des activités agricoles (polyculture - élevage) grâce à une meilleure disponibilité financière et à l'accès au crédit bancaire. Les pratiques de protection de la culture reflètent une bonne maîtrise technique garantissant la compétitivité de la production cotonnière. Cette culture représente moins de 20% de la surface cultivable.

Les exploitations de **type E** disposent de moyens de production (terrains, capitaux, équipements, etc.) supérieurs aux catégories précédentes et le recours à la main d'oeuvre salariée est fréquent. Elles associent généralement une culture intensive (coton, soja, etc.) avec des activités plus extensives (maïs, sorgho, élevage, etc.). L'itinéraire technique en parcelle cotonnière est adapté à la mécanisation : une distance supérieure à 1,5 m entre les lignes permet d'effectuer le sarclage au tracteur durant la phase végétative et d'utiliser une pompe de pulvérisation pour les traitements insecticides.

#### ***6.5.4 Place de la culture cotonnière dans les systèmes de production***

La culture cotonnière joue des rôles différents selon le type d'exploitation qui l'intègre dans son assolement. Chacun des groupes présentés ci-dessus trouve dans cette culture un moyen de répondre à la fois aux objectifs du système de production et aux contraintes imposées par le milieu physique ou l'environnement socio-économique.

---

<sup>1</sup> Anciens riziculteurs, qui fuient le régime totalitaire birman, les migrants Mòns n'ont jamais utilisé d'insecticides avant de venir s'installer en Thaïlande.

#### 6.5.4.1 La gestion de la main d'oeuvre

Le choix de la culture cotonnière est guidé, entre autres, par les avantages qu'elle présente pour la gestion de la main d'oeuvre. Cependant, les stratégies qui sous-tendent ce choix diffèrent entre types d'exploitations.

Pour les agriculteurs de **type A**, un cycle de cotonnier permet de valoriser, sur un laps de temps très court (5 mois environ), une surface inférieure à 1,5 ha, qui ne permet pas à elle seule d'assurer la subsistance de la famille. Le reste du temps la main d'oeuvre est disponible pour des activités hors exploitation, qui assurent l'essentiel du revenu. Certains agriculteurs n'habitent dans la zone de production que pendant la durée de cycle du cotonnier. Ils partent ensuite travailler dans d'autres régions comme salariés agricoles (récolte du riz ou de la canne à sucre, etc) où dans l'industrie à Bangkok. Deux cycles successifs de maïs ou de sorgho, parviendraient à peine à égaler le revenu tiré de la production cotonnière, mais ils fixeraient la main d'oeuvre familiale en zone rurale<sup>1</sup> sur une période beaucoup plus longue.

La stratégie des systèmes de production de **type B** consiste au contraire à occuper l'ensemble de la main d'oeuvre familiale sur l'exploitation. Sur des surfaces légèrement supérieures au cas précédent, la monoculture du cotonnier permet de dégager un revenu suffisant pour subvenir aux besoins de la famille pendant toute une année. La main d'oeuvre familiale est une ressource abondante pour ces exploitations. Elle permet de compenser :

- la faible surface cultivée, par des pratiques intensives destinées à maximiser le rendement.
- le manque de trésorerie pour l'achat des intrants. Par exemple, le sarclage manuel est préféré aux herbicides<sup>2</sup>. Le temps consacré à cette opération est le double de celui des agriculteurs de type A (plus de 40 heures par hectare contre moins de 20 h/ha pour les exploitations A).

Pour les exploitations de type C, D ou E, la culture cotonnière est un moyen de répartir la charge en travail tout au long de l'année.

A Kanjanaburi, les cultures relais maïs - coton occupent les agriculteurs Mûns tout au long de la saison des pluies. Pour les commerçants dont ils dépendent, ces producteurs représentent une réserve de main d'oeuvre pour la récolte sur les vergers fruitiers.

Les types D et E déterminent les surfaces des différentes cultures de l'assolement en fonction de la main d'oeuvre disponible pour la récolte. Les productions maraîchères (aubergines et piments), doivent être récoltées et commercialisées tous les trois jours.

---

<sup>1</sup> Les emplois en zone rurale sont beaucoup moins rémunérateurs qu'en ville. Le salaire journalier agricole était de 60 Bahts en 1993 contre 120 à 150 Bahts dans l'industrie.

<sup>2</sup> Les herbicides sont perçus comme un risque pour la fertilité du sol. Hors, le foncier est le facteur limitant principal de ces exploitations.

Le coton-graine, doit être collecté rapidement au risque d'affecter sa qualité, alors que le maïs peut rester sur pied dans la parcelle relativement longtemps avant d'être récolté. Le cotonnier s'intègre donc harmonieusement dans le calendrier de travail des exploitations qui pratiquent la polyculture (Figure 6.13).

Par ailleurs, la main d'oeuvre nécessaire à la conduite de la culture cotonnière (essentiellement manuelle, cf. § 6.3) est un facteur limitant majeur pour l'adoption de cette production par les grandes exploitations mécanisées de la région de Lopburi (types V-A et V-B en Annexe 6.6).

#### 6.5.4.2 Le revenu

La figure 6.14 présente, en ordonnée, les niveaux potentiels de revenu à l'hectare pour différentes cultures pratiquées en zone d'agriculture pluviale en Thaïlande. En abscisse on trouve une estimation de la quantité de travail requise pour chaque production, exprimée en surface cultivable par actif. Ramenée à l'unité de surface, la culture cotonnière est donc particulièrement compétitive. Ce facteur est déterminant pour les plus petites exploitations (A et B notamment).

Les exploitations de type D et E déterminent les surfaces cotonnières de l'assolement en fonction de plusieurs contraintes liées à la gestion des moyens de production :

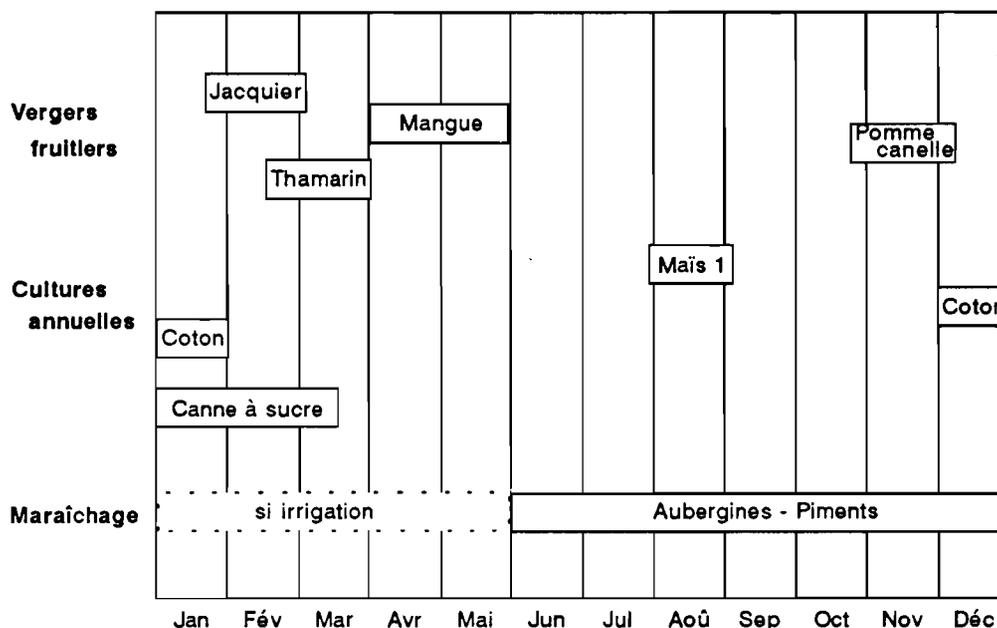
- faire face aux pointes de travail du sarclage et de la récolte. Les surfaces cotonnières dépassent rarement 1 ha, le reste des l'assolement est généralement réservé à des productions moins intensives en travail (maïs, sorgho, vergers, etc.).
- limiter l'endettement auprès des commerçants locaux en faisant circuler les liquidités financières d'une production à l'autre en cours de campagne. Ainsi, à Kanjanaburi, l'argent reçu grâce à la vente du maïs est presque totalement investi dans les intrants pour le coton. Les aubergines et piments, vendus tous les trois jours, permettent de subvenir aux besoins quotidiens de la famille<sup>1</sup>.

A Lopburi, le transfert d'argent s'effectue aussi entre systèmes de culture. Dans les exploitations de type D, par exemple, trois cycles cultureux se succèdent dans l'année : des pastèques, haricot mungo ou sésame sont semés dès les premières pluies. Cultures de cycle court (3 mois environ) elles sont récoltées et commercialisées dès le mois de Juin. Les sommes ainsi obtenues sont investies sur d'autres parcelles, de cotonnier, semé le même mois, ou de soja, semé en août. Le produit de la vente de ces dernières permet de financer un cycle de maïs ou de sorgho en fin de saison. Ces dernières cultures sont généralement implantées sur les terrains qui avaient supporté le premier cycle cultural.

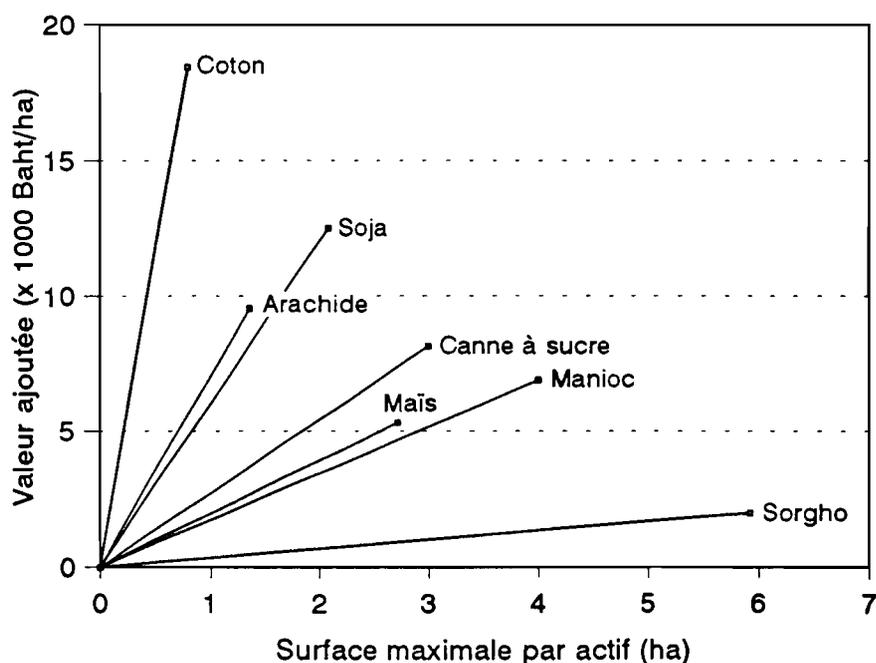
---

<sup>1</sup> La vente du coton est plutôt utilisée pour les gros investissements en biens de consommation (télévision, cyclomoteur, etc.) ou équipement agricole productif.

**Figure 6.13.** Complémentarité des périodes de récolte des principales cultures dans la zone de Kanjanaburi.



**Figure 6.14.** Comparaison des cultures les plus pratiquées en zones d'agriculture pluviale en termes de productivité et de besoins en travail. Chaque point correspond au niveau potentiel relevé au cours des enquêtes sur les systèmes de culture cotonniers réalisés dans les provinces de Kanjanaburi et Lopburi en 1992 et 1993.



Les transferts de liquidité entre productions, en cours de saison, permettent non seulement de limiter la dépendance financière vis-à-vis des commerçants locaux, mais aussi de répartir le risque d'échec sur plusieurs spéculations<sup>1</sup>.

#### 6.5.4.3 Le risque économique

Les agriculteurs qui disposent de suffisamment de superficie cultivable cherchent à associer :

- des cultures dites intensives, à revenu potentiel élevé mais aussi à forte consommation de moyens de production (travail, intrants, etc.) : cotonnier, soja, maraîchage (pour les systèmes irrigués).
- avec des cultures extensives qui permettent de garantir un bénéfice minimum tout en limitant l'investissement : maïs, sorgho, manioc, etc.

La figure 6.15 présente les gammes de variation de la valeur ajoutée, relevées pour chaque culture (sur 57 systèmes de production).

Dans la mesure où le revenu est constitué par la différence entre le produit de la vente de la récolte et les coûts de production, le risque est de deux ordres :

- **une mauvaise récolte** : le risque phytosanitaire est particulièrement important pour le cotonnier, nous l'avons vu, mais il touche aussi le soja (notamment *H. armigera*). Par ailleurs, cette dernière culture peut être très affectée par une pluie de fin de saison, lorsque les gousses sont parvenues à maturité. Le maïs a été détruit à plusieurs reprises ces dernières années par des sécheresses en période de fécondation (cf. § 4.4).

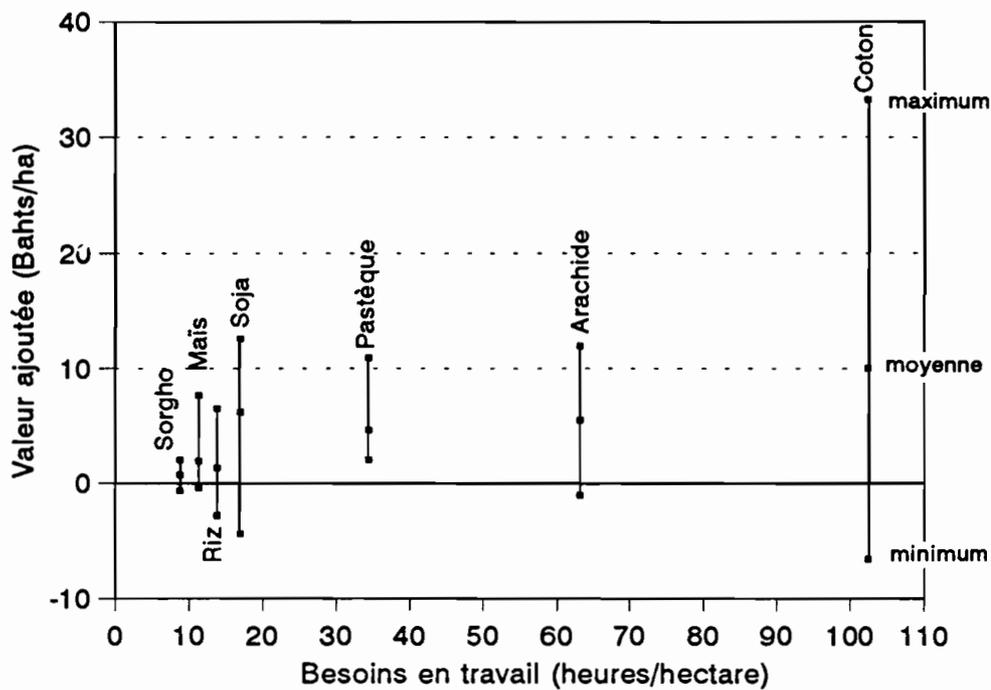
Ce facteur conditionne donc l'amplitude des variations de rendement pour chaque culture. La figure 6.15 suggère que cette incertitude (longueur de chaque barre) est d'autant plus forte que le gain potentiel (valeur maximale) et le gain moyen augmentent.

- **un résultat économique négatif** est la conséquence de coûts de production supérieurs au produit brut. Les plus petits producteurs, qui ne disposent pas d'épargne, sont pris alors dans l'engrenage de l'endettement. Avec un crédit à 5% par mois, le transfert de la dette sur la saison suivante devient rapidement insupportable financièrement et beaucoup d'entre eux ont été amenés à décapitaliser (vente de bétail ou de terrains) ces dernières années. Le risque d'un résultat économique négatif est donc aussi un critère de décision essentiel pour l'intégration de la culture cotonnière dans les systèmes de production.

---

<sup>1</sup> En 1993, dans la région de Lopburi, plus de 50% des surface en maïs ont été détruites en raison d'une sécheresse prolongée en période de fécondation. De nombreuses exploitations, de type D et E notamment, ont pu éviter l'endettement grâce à de bonnes récoltes de coton et à la vente de quelques vaches. L'élevage joue un rôle d'épargne, utilisée en cas de coup dur pour la consommation du ménage. Le produit des cultures est plutôt utilisé pour financer l'appareil de production : achat des intrants, matériel agricole mais aussi cheptel bovin.

**Figure 6.15.** Comparaison des cultures les plus pratiquées en zones d'agriculture pluviale en termes de risque économique et de besoins en travail. Pour chaque culture est représenté la gamme de valeur ajoutée, obtenue par les agriculteurs enquêtés dans les provinces de Kanjanaburi et Lopburi en 1992 et 1993.



### 6.5.5 *Système de production et gestion du risque phytosanitaire*

L'étude des interactions entre systèmes de culture et systèmes de production nous a permis d'identifier quatre stratégies de protection phytosanitaire.

#### 6.5.5.1 Les exploitations de type A

Elle cherchent à limiter au maximum le risque lié à un résultat économique négatif. Elles réduisent le coût des intrants, qu'elles financent non pas sur des emprunts à court terme<sup>1</sup>, mais sur les revenus tirés d'activités extérieures à l'exploitation. L'ensemble de l'itinéraire technique est conditionné par le faible investissement en intrants et en main d'oeuvre.

Le semis précoce permet de réduire la sensibilité de la culture aux attaques de ravageurs en début de cycle (cf. Chapitre 5). Ainsi, le nombre de pulvérisations insecticides est minimal. L'agriculteur n'intervient que lorsqu'il observe de fortes attaques de ravageur. Mais leur contrôle s'avère souvent difficile car la décision est prise tardivement et les insecticides sont moins efficaces sur les stades larvaires les plus avancés. De plus, une autre incertitude est liée à la qualité des produits insecticides choisis en fonction de leur faible prix.

La recherche d'un rendement régulier d'une année à l'autre, bien que bas (700 kg/ha en moyenne), et la nécessité de se mettre à l'abri des dettes les années marquées par de très fortes attaques de ravageurs, expliquent ces pratiques phytosanitaires.

#### 6.5.5.2 Les exploitations de type B

Leur objectif économique est de maximiser le gain par unité de surface. Le semis précoce favorise les potentialités agronomiques et phytosanitaires de la culture, qui sont sécurisées par une utilisation intensive d'insecticides. Ces agriculteurs s'endettent lourdement de manière à atteindre des rendements maximaux. Les pulvérisations insecticides sur calendrier sont une garantie contre des attaques soudaines de ravageurs contre lesquelles ils ne pourraient pas intervenir (en cas de période pluvieuse prolongée,

---

<sup>1</sup> Les agriculteurs de type A sont soit :

- des personnes âgées qui ont divisé leurs terrains entre leurs enfants et conservent un lopin de terre sur lequel ils financent l'activité agricole grâce à l'argent que leur procure ces derniers. Les personnes de cette génération ont beaucoup d'enfants (souvent plus de 5, avant la transition démographique des années 70) dont certains héritent de parcelles si petites qu'ils sont obligés d'aller chercher à Bangkok un travail salarié. Ils envoient régulièrement de l'argent à leurs parents qui souvent prennent soin de leurs propres enfants (leur éducation serait trop coûteuse à Bangkok). Dans certaines zones, les campagnes ne sont plus peuplées que de personnes âgées et d'enfants (EKACHAI, 1990).
- les enfants des précédents, qui disposent de très petites surfaces, et doivent chercher un complément de revenu dans une activité extérieure.

par exemple). Ces agriculteurs choisissent les insecticides de qualité supérieure, même si leur prix est plus élevé que celui des marques locales.

Mais il n'est pas rare que ces pratiques de lutte chimique intensives aboutissent à des attaques incontrôlables par les insecticides (en raison de la résistance des ravageurs), notamment en fin de saison des pluies. La collecte manuelle des chenilles devient alors le seul recours possible pour éviter l'échec<sup>1</sup>.

Finalement, ces agriculteurs cherchent à limiter l'amplitude de variation du produit brut emencides préventi p 4 augmentent p 4 les co ts e production. Mais ils compensent le risque de résultat négatif, qui les entraînerait dans une spirale d'endettement, par un fort investissement en main d'oeuvre.

### 6.5.5.3 Les exploitations de type C

Obligés de semer plus tardivement que les types A et B en raison notamment du précédent maïs, les agriculteurs du groupe C se voient imposer leurs pratiques culturales par les commerçants locaux dont ils dépendent. Beaucoup d'entre eux n'ont jamais cultivé de coton lorsqu'ils arrivent en Thaïlande et ne connaissent ni les ravageurs, ni les insecticides. Leurs 'protecteurs' leur fournissent tous les intrants (à crédit) ainsi que des conseils techniques, qui conduisent inévitablement à la surconsommation (cf. § 6.3).

Leur stratégie anti-risque phytosanitaire est de nature spatiale. Contrairement aux autres groupes, ils n'ont ni le choix des cultures, ni (dans une certaine mesure) celui des pratiques culturales; par contre ils possèdent plus de liberté dans le choix des zones de production puisque leur terrain ne leur appartient pas. En effet, les commerçants locaux possèdent ou louent (à des propriétaires absentéistes) un certain nombre de parcelles, qu'ils sous-louent aux familles Mômns. La mise en culture d'un terrain donné impose au locataire d'acheter les intrants et de vendre les récoltes de maïs et coton au 'taokae' qui 'contrôle' la parcelle. Par contre, ils ont la possibilité de lier contrat avec plusieurs commerçants selon l'appartenance des parcelles qu'ils prennent en charge. En d'autres termes, à une parcelle donnée correspond un seul 'taokae' mais une famille Môm peut dépendre de plusieurs taokaes en fonction des parcelles qu'elle cultive.

Cette situation présente des avantages à deux titres :

- la répartition géographique des parcelles leur permet de répartir le risque phytosanitaire dans l'espace. Nous avons vu en effet que la variabilité spatiale des attaques de ravageurs est importante (cf. § 5.3).

---

<sup>1</sup> Certains agriculteurs pratiquent la collecte manuelle des chenilles de façon systématique, tout au long de l'année, en complément des pulvérisations insecticides. En 1992 et 1993 les agriculteurs de type B mais aussi certains de type D et E ont dû payer des écoliers pour collecter les chenilles dans leurs parcelles tous les jours après leurs cours. Les enfants sont payés selon le nombre de chenilles rapportées (jusqu'à 0,5 Baht pièce).

- ils ont accès aux produits phytosanitaires de différents fournisseurs, ce qui leur ouvre une gamme de choix élargie en qualité et en prix<sup>1</sup>.

Cependant, ce mode de production leur impose une grande mobilité. Leur habitation précaire, en bambous, est généralement plantée près de celle de leur 'protecteur' ou proche de la route. Ils se déplacent souvent, soit parce que sur-endettés leur taokae refuse de les prendre en charge plus longtemps, soit parce qu'ils ont acquis une certaine expérience dans la production cotonnière et cherchent à la valoriser sur des terrains plus favorables à cette culture. Cependant, leur territoire s'amenuise rapidement à mesure que se développent les cultures pérennes, notamment les vergers fruitiers et les forêts commerciales d'eucalyptus.

#### 6.5.5.4 Les exploitations de type D et E

Leur pratiques de protection phytosanitaires sont les plus proches du 'raisonnable'<sup>2</sup>. Ils traitent selon une fréquence de base de 10 à 15 jours mais adaptent les doses et les matières actives aux insectes observés. Ils interviennent aussi sur seuil lorsque ceux-ci sont dépassés entre deux pulvérisations sur calendrier. Les doses insecticides sont souvent élevées en raison des fortes quantités d'eau pulvérisée par les appareils à moteur (cf. § 6.3).

Leur manière de réduire le risque phytosanitaire consiste à diversifier les cultures. Cette stratégie leur impose un semis de coton relativement tardif soit en raison d'un précédent cultural sur la même parcelle, soit pour faciliter la gestion de la main d'oeuvre familiale entre les différentes cultures de l'assolement (type D).

## 6.6 CONCLUSION

Finalement, les stratégies des différents groupes d'exploitations visent à intégrer des contraintes agroécologiques, qui leurs sont communes (interactions plante-ravageurs à l'échelle de la parcelle), à un contexte socio-économique qui leur est spécifique.

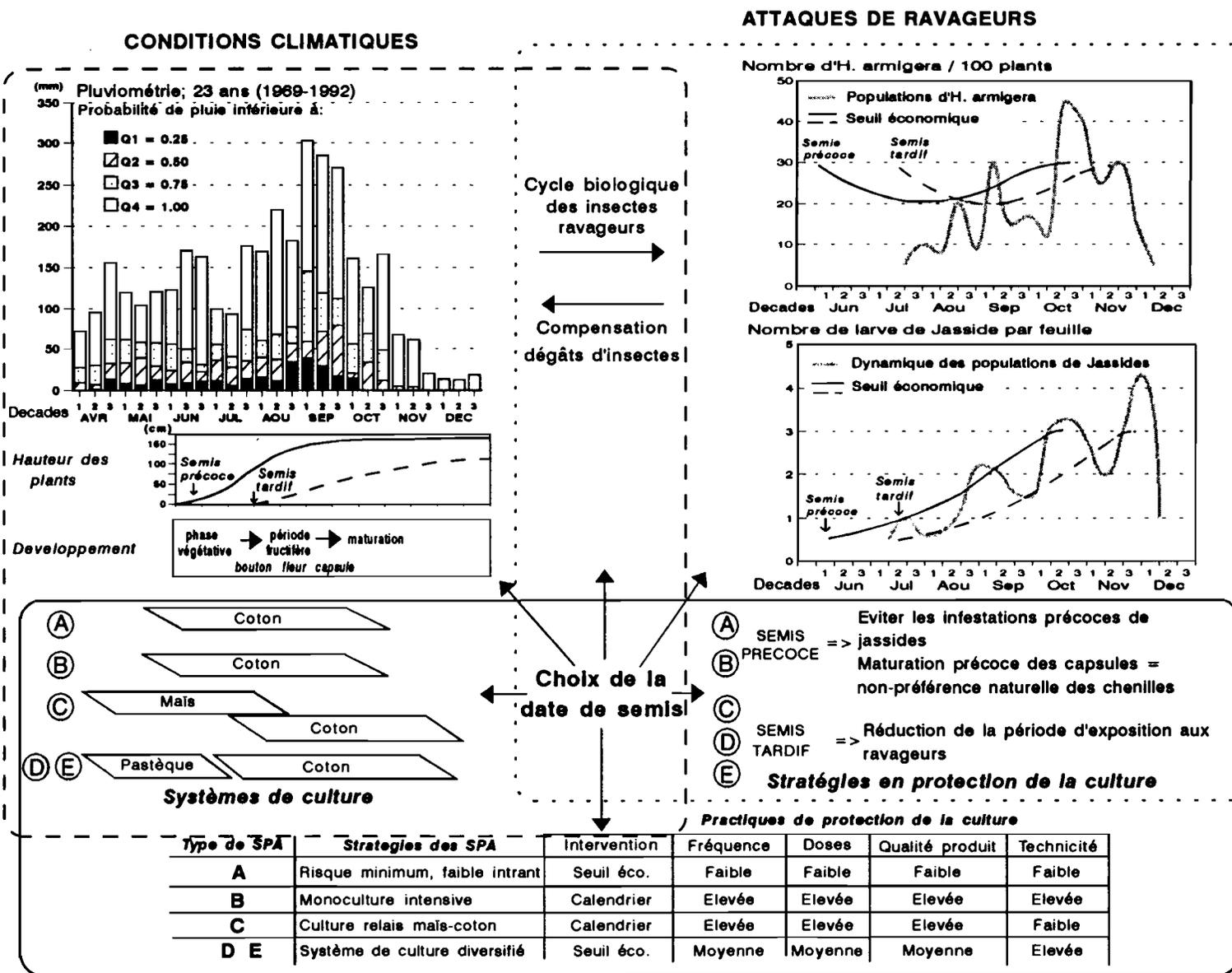
Les agriculteurs raisonnent en terme de risque lorsqu'ils considèrent tous les éléments extérieurs interférant avec le système qu'ils pilotent. Les pratiques de protection phytosanitaire (date de semis, pulvérisations insecticides, etc.) répondent à trois types de risques : climatiques, parasitaires et économiques. Les systèmes de culture trouvent donc leur cohérence dans les décisions prises à l'interface entre ces trois cadres de contraintes (Figure 6.16).

---

<sup>1</sup> Mais encore faut-il qu'ils disposent des connaissances ou de l'expérience nécessaire pour faire le bon choix.

<sup>2</sup> Faute de référence technique 'connue et reconnue' par les vulgarisateurs et les agriculteurs, nous nous référons à la brochure publiée par le Département de l'agriculture (DOA, 1992).

Figure 6.16. Analyse des stratégies de protection phytosanitaire en culture cotonnière, à l'interface entre les contraintes climatiques, parasitaires et socio-économiques.



### 6.6.1 *Le cadre de contrainte agroécologique*

Nous avons cherché, par exemple, à comprendre comment les producteurs décident de la date de semis. Le chapitre 5 a montré en effet que cette opération culturale a des conséquences majeures sur la protection de la culture.

Une analyse fréquentielle du climat souligne les risques relatifs associés aux différentes alternatives (Figure 6.3). Un semis précoce maximise le potentiel physiologique de croissance par une augmentation de la disponibilité en pluies efficaces tout au long du cycle cultural. Mais il accroît le risque de sécheresse au moment de la levée, qui peut perturber l'établissement des plantules, et majore le risque d'une première récolte de coton en conditions pluvieuses. Un semis tardif présente les avantages et contraintes opposés.

La compilation des données expérimentales collectées sur cinq sites au cours de trois années consécutives d'observation a permis d'établir une courbe de risque d'infestation pour chacun des deux principaux insectes ravageurs du cotonnier en Thaïlande: la chenille carpophage *Helicoverpa armigera* et la jasside *Amrasca devastans* (§ 5.3). Les pratiques de protection phytosanitaire ont donc été analysées en superposant une courbe de seuil économique, établie grâce aux résultats du paragraphe 5.4, à celle des dynamiques d'infestation parasitaire (Figure 6.4).

Un semis précoce permet donc de réduire les risques liés à de fortes pressions de jassides lorsque le plant est le plus sensible à leurs attaques (stade jeune plantule). De plus, une maturation précoce des premières capsules leur procure une défense naturelle contre les plus fortes attaques de chenilles, en fin de saison.

### 6.6.2 *Intégrer les contraintes agroécologiques dans le contexte socio-économique du système de production*

La seconde étape de l'analyse des pratiques culturales consiste à les resituer dans le contexte du système de production.

On constate alors qu'une même pratique peut correspondre à deux logiques différentes. Les agriculteurs de type A et B réalisent un semis précoce pour les mêmes 'raisons agroécologiques' (cf. ci-dessus), mais l'objectif du second est de maximiser le nombre de capsules récoltables par unité de surface en calant le cycle cultural dans des conditions optimales par rapport aux risques d'attaques d'insectes ainsi qu'à grand renfort de pesticides alors que le premier cherche à sécuriser un rendement minimal en évitant d'exposer la culture à de fortes populations de ravageurs, afin de limiter les risques financiers et la demande en main d'oeuvre. De la même manière, les agriculteurs de type C appliquent des techniques de protection phytosanitaires (surdosage, hautes fréquences d'intervention, etc.) proches de ceux de type B parce qu'ils n'ont pas d'alternative. L'ensemble de leur programme de contrôle des ravageurs leur est imposé par le

commerçant local dont ils dépendent pour la fourniture d'intrants à crédit, la location des terrains, etc.

L'agriculteur dispose par ailleurs de **plusieurs techniques culturales pour répondre à une même stratégie** de protection phytosanitaire. Les exploitations de type E cherchent à semer le plus tôt possible, mais lorsque des problèmes d'organisation du travail leur imposent un semis tardif, elles compensent cette situation défavorable en utilisant des traitements insecticides de semences (trop risqués pour des semis précoces, en cas de mauvaise levée) ou des herbicides de prélevée (car le tracteur ne peut plus pénétrer dans la parcelle pour les sarclages lorsque l'on avance dans la saison des pluies).

Finalement, les pratiques de protection phytosanitaire décrites dans ce chapitre semblent peu appropriées pour résoudre les problèmes de parasitisme sur le long terme. De ce point de vue, la plupart des producteurs de coton thaïs sont encore bien loin des techniques dites de "lutte intégrée" (CASTELLA *et al.*, 1994).

Les agriculteurs finissent par être considérés comme les artisans de leur propre perte. Cependant, ils ont généralement de bonnes raisons de mettre en oeuvre de telles pratiques, dont la logique apparaît lorsque l'on considère leur cadre global de prise de décision.

**Conclusions**

**7**

<b>7. CONCLUSIONS</b>	<b>239</b>
<b>7.1 Acquis et perspectives scientifiques</b>	<b>239</b>
7.1.1 L'analyse régionale	239
7.1.2 La complémentarité des enquêtes et des expérimentations à l'échelle de la parcelle	240
7.1.3 Systèmes de culture - systèmes de production	242
7.1.4 Pour une approche spatiale au delà de la parcelle	242
<b>7.2 Propositions pour une gestion durable des systèmes de culture cotonniers</b>	<b>243</b>
7.2.1 Cahier des charges pour l'adoption des innovations par les agriculteurs	243
7.2.2 Propositions pour des programmes de protection durables	244
<b>7.3 Quelles approches privilégier pour introduire les pratiques de lutte intégrée ?</b>	<b>244</b>
7.3.1 Les réseaux traditionnels de communication	246
7.3.2 Vers une gestion collective de la contrainte phytosanitaire	246

## 7. CONCLUSION

---

### 7.1 ACQUIS ET PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES

La démarche scientifique proposée ici a consisté à intégrer progressivement différentes échelles d'analyse : parcelle, exploitation agricole, région, autour d'une même problématique : la protection de la culture cotonnière.

#### 7.1.1 *L'analyse régionale*

L'approche régionale avait pour objectif d'évaluer la part de la contrainte phytosanitaire dans le déclin de la culture cotonnière. Nous avons montré que le problème de la surconsommation d'insecticides a affecté dans une large mesure la viabilité écologique et économique de la production cotonnière.

Les agriculteurs ont adapté les techniques de protection phytosanitaires (disponibles à chaque période de l'histoire agricole de ces quarante dernières années) à des populations de ravageurs en augmentation constante. L'aggravation progressive de la contrainte parasitaire est liée à différents processus de transformation de l'agroécosystème :

- la mise en culture, après défrichage, de larges zones forestières a modifié les équilibres naturels au sein de l'entomofaune, par l'uniformisation progressive du milieu. Certains insectes, ravageurs des cultures, ont commencé à pulluler.
- des pulvérisations insecticides (de DDT notamment) par voie aérienne ont été réalisées par les services du Ministère de l'agriculture afin de venir à bout d'attaques de criquets (dans les années 60) ainsi que des moustiques vecteurs du paludisme. Ce premier contact des ravageurs avec les insecticides a accéléré l'apparition de résistances, lorsque les agriculteurs se sont mis à utiliser les mêmes techniques. Les changements successifs de famille insecticide<sup>1</sup> n'ont fait qu'occulter pendant une courte durée le problème de résistance.

Face à ces contraintes phytosanitaires majeures, l'attitude laxiste de l'Etat a donné libre cours aux acteurs du secteur privé de la filière cotonnière pour orienter les pratiques des agriculteurs. Le message technique passe mal entre structures de recherche et services de vulgarisation, entre techniciens agricoles et agriculteurs, ainsi qu'entre agriculteurs et chercheurs, car les vulgarisateurs ne jouent pas leur rôle de relais. Dans un tel contexte, les commerçants locaux, égreneurs et firmes d'agrochimie sont les interlocuteurs privilégiés des producteurs, et tous trois ont intérêt à maximiser la

---

<sup>1</sup> Les insecticides organophosphatés ont succédé aux organochlorés (dont le DDT), puis sont apparus les pyréthréinoïdes à la fin des années 70.

consommation d'insecticide de leurs clients. Le manque de coordination entre des acteurs, qui poursuivent des objectifs souvent contradictoires, est un facteur clef de l'incapacité à gérer la contrainte phytosanitaire de manière rationnelle.

Finalement, l'analyse régionale nous a permis de faire la part des problèmes qui pouvaient trouver une solution technique, et de ceux pour lesquels une solution institutionnelle ou sociale s'impose.

Les problèmes techniques que nous avons identifiés à travers les enquêtes informelles auprès des différents acteurs de la filière, concernent principalement :

- la perception du risque phytosanitaire réel associé à un niveau donné d'infestation par les ravageurs (systématiquement surévalué par les agriculteurs),
- l'absence de recommandation technique connue (et reconnue) à la fois par les agriculteurs et les structures d'encadrement, enfin,
- le manque de connaissances et de moyens techniques, nécessaires pour mettre en oeuvre des stratégies de protection de la culture compatibles avec la lutte intégrée.

### ***7.1.2 La complémentarité des enquêtes et des expérimentations à l'échelle de la parcelle***

Les expérimentations phytosanitaires répondaient à deux objectifs :

- Etablir, dans la zone d'enquête, un référentiel utilisable comme une grille d'analyse des pratiques des agriculteurs. Il était nécessaire de connaître les niveaux d'infestation parasitaire et leurs variations dans le temps, afin de porter un jugement objectif sur le bien fondé des stratégies de protection phytosanitaire des producteurs enquêtés.
- Etablir des références techniques directement applicables au contexte de production des agriculteurs<sup>1</sup>.

Les résultats expérimentaux ont montré que le jasside (*Amrasca devastans*) et la chenille (*Helicoverpa armigera*) sont responsables de pertes de récolte considérables. Il est aujourd'hui impossible de produire du coton, de manière économiquement rentable, sans avoir recours à des produits insecticides. Nous avons donc concentré notre étude sur les deux ravageurs : jasside et chenille.

Nous avons montré que ces deux insectes causent des dégâts de natures différentes, et que ces dégâts peuvent conduire ou non à un dommage selon le stade de développement de la plante auquel ils interviennent. Ces résultats permettent de différencier les attaques d'insectes génératrices de dommage, qui justifient une

---

<sup>1</sup> Des tests en laboratoire ont montré en effet que les chenilles d'*Helicoverpa armigera* de la station de recherche de Farm Suwan présentent des niveaux de résistance aux insecticides inférieurs à ceux des chenilles collectées en milieu paysan, à Kanjanaburi et Lopburi.

intervention, de celles qui n'affectent pas le rendement (malgré des dégâts parfois impressionnants).

Si certains dégâts n'entraînent pas de dommage, c'est que le cotonnier est capable de compenser l'abscission d'organes fructifères par une augmentation de la croissance végétative et la formation de nouveaux sites fructifères. La méthode d'analyse statistique des coefficients de pistes nous a permis de caractériser ce phénomène de compensation.

La présence d'un complexe de ravageurs multiples tend à remettre en cause la notion de seuil d'intervention individuel pour chacun des insectes. En effet, le processus de formation du dommage est caractérisé par des interactions constantes entre ravageurs. Nous avons donc été amenés à étudier l'impact des techniques de protection insecticide sur le rendement et le dommage, à partir de profils de ravageurs (l'histoire des attaques d'insectes tout au long du cycle cultural). Des analyses multivariées ont montré qu'une couverture insecticide croissante est associée à un gradient croissant de rendement et à une diminution du dommage parasitaire. Les pratiques de protection insecticide intensive des agriculteurs tendent donc à se justifier.

Les expérimentations ont montré cependant qu'il existe des alternatives au recours systématique aux insecticides. La date de semis permet de moduler l'aptitude du cotonnier à compenser les dégâts de ravageurs. Elle permet aussi de caler le cycle cultural, de manière à limiter le risque d'infestation.

Les enquêtes sur les pratiques des agriculteurs ont souligné les relations entre opérations culturales. Il semble que les différents systèmes de culture paysans se concentrent, chacun à sa manière, sur la protection phytosanitaire. Ainsi, le précédent cultural, la date de semis, la densité de peuplement, la fertilisation, le contrôle de l'enherbement, etc. sont autant de stratégies de protection de la culture.

Nous avons identifié certains des processus techniques qui conduisent à la surconsommation d'insecticides. Par exemple, la recherche d'un semis précoce, qui permet aux agriculteurs de répartir le risque phytosanitaire sur une plus longue période (grâce au phénomène de compensation), contribue à augmenter le nombre de pulvérisations insecticides. Mais à l'inverse, un semis tardif réduit le potentiel de production des cotonniers.

Les expérimentations ont conduit à la conclusion que le jasside est responsable des dommages les plus importants en situation non protégée. Cependant, les enquêtes montrent que ce ravageur est contrôlé facilement par les insecticides. Le problème est que les traitements de début de cycle, ciblés contre les jassides, éliminent les prédateurs des chenilles et commencent à établir une pression de sélection sur les individus résistants des populations de chenilles. En période de fructification, lorsque les attaques de chenilles peuvent causer des dommages<sup>1</sup> importants, ce ravageur n'est plus contrôlable par des doses raisonnables d'insecticide.

---

<sup>1</sup> Les expérimentations ont montré que les attaques de chenilles entraînent peu de dommages en début (30 à 60 jours après semis) et fin de cycle culturale (90 à 120 jours après semis).

### **7.1.3 *Systèmes de culture - systèmes de production***

La logique des systèmes de culture cotonniers apparaît lorsqu'ils sont abordés du point de vue de l'agriculteur. Ce dernier développe des stratégies de lutte contre les ravageurs à l'interface entre deux cadres de contrainte : le milieu agroécologique et l'environnement socio-économique (Chapitre 6). De plus, chaque décision intègre deux niveaux de perception de ces contraintes : celui de la parcelle (Chapitre 5) et celui de la région (Chapitre 4).

Des enquêtes, menées sur des échantillons d'exploitations<sup>1</sup> aussi diverses que possibles, se sont attachées à expliquer les pratiques des agriculteurs par le fonctionnement des systèmes de production. Nous avons ainsi identifié cinq stratégies différentes de protection de la culture cotonnière. Une typologie des systèmes de production associe dans une même classe les agriculteurs susceptibles d'adopter les mêmes recommandations techniques.

L'étape suivante consisterait donc à élaborer et à tester des systèmes de culture adaptés à chaque type d'exploitations. Quelques voies de recherche sont proposées au tableau 7.1.

### **7.1.4 *Pour une approche spatiale au delà de la parcelle***

Notre démarche d'intégration progressive de l'information sur la contrainte phytosanitaire, de la parcelle à la région, a sauté une étape pourtant essentielle : les interactions entre systèmes de cultures au sein de l'agroécosystème. En effet, nous n'avons pas abordé, par exemple, l'impact des pratiques de protection d'un agriculteur sur les infestations de ravageurs dans les parcelles cotonnières voisines.

Une approche spatiale des interactions entre parcelles cultivées serait donc une suite logique à nos travaux de recherche. Elle devrait permettre d'évaluer l'impact de la composition de l'écosystème sur la biologie des ravageurs. En effet, la relation entre les pratiques des agriculteurs et les dynamiques de populations d'insectes, le problème de la résistance aux insecticides doivent aussi être abordés à l'échelle de l'agroécosystème.

Mais si nous avons choisi dans notre étude de privilégier le système de culture, c'est parce qu'il est le niveau décisionnel privilégié par les agriculteurs. En effet, nous avons constaté, à travers l'analyse régionale, que les agriculteurs géraient leur production de manière très individuelle. Dans le contexte de l'agriculture thaï, toutes les tentatives de promotion d'une gestion collective de la contrainte phytosanitaire (autour de la notion de lutte intégrée) se sont soldées jusqu'à présent par des échecs. Nous avons donc préféré rechercher des solutions, adaptées aux principaux modes de conduite de la culture (afin de favoriser leur adoption par les agriculteurs), qui soient aussi compatibles avec une gestion à l'échelle de l'agroécosystème.

---

<sup>1</sup> Deux échantillons (l'un à Kanjanaburi, l'autre à Lopburi) d'une trentaine d'exploitations chacun, dont la moitié environ pratiquent la culture cotonnière.

## 7.2 PROPOSITIONS POUR UNE GESTION DURABLE DES SYSTEMES DE CULTURE COTONNIERS

### 7.2.1 *Cahier des charges pour l'adoption des innovation par les agriculteurs*

Nous rappellerons tout d'abord que les recommandations doivent remplir certaines conditions pour avoir des chances d'être adoptées.

Les agriculteurs sont plus préoccupés par l'optimisation du profit que par la maximisation du rendement, éléments rarement compatibles en culture cotonnière. Un programme de recherche se proposant d'améliorer la productivité des systèmes de production agricole doit s'attacher à la réduction des coûts de production au même titre qu'au développement qualitatif et quantitatif de la production. Ainsi, la réintroduction de variétés pileuses en Thaïlande comme facteur naturel de tolérance aux jassides permet de réduire le coût de la protection contre les insectes piqueurs-suceurs (pour les agriculteurs travaillant sur seuil d'intervention). Cependant, les autres caractéristiques du cultivar doivent être au moins égales aux variétés existantes (rendement potentiel, sensibilité à *H. armigera*, etc.) pour avoir des chances d'adoption (cf. § 6.3).

La prise en compte du risque est un élément de décision essentiel pour beaucoup d'agriculteurs, dont les pratiques visent à stabiliser les niveaux de production afin de réduire l'éventualité d'un échec. Avant de proposer, par exemple, une technique reposant sur une date uniforme de semis<sup>1</sup>, l'agronome doit donc s'enquérir de la rationalité de dates de semis décalées, largement pratiquées actuellement. En établissant des priorités pour un programme expérimental, il est important de tester des alternatives qui n'augmentent pas nécessairement le bénéfice moyen mais aident à réduire la variabilité interannuelle.

Un autre facteur décisionnel, lié à la gestion du risque, est le fait que les agriculteurs tendent à modifier leurs pratiques de manière graduelle. Toute proposition pour une combinaison de recommandations doit permettre au producteur d'entreprendre les changements de façon progressive, un paquet technologique complexe ayant toutes les chances d'être rejeté (CIMMYT, 1988). DEGUINE *et al.* (1993) proposent deux étapes

---

<sup>1</sup> Lorsque cette pratique est généralisée, elle contribue à réduire le développement des populations d'insectes ravageurs en limitant la durée de présence de plantes hôtes dans l'agroécosystème.

intermédiaires entre les programmes de pulvérisations insecticides sur calendrier et des traitements sur seuils d'intervention<sup>1</sup>.

### **7.2.2 Propositions pour des programmes de protection durables en culture cotonnière**

Le concept de lutte intégrée émerge comme une solution incontournable à chaque crise de la production cotonnière. Cependant, des enseignements devraient être tirés des expériences passées de programme de protection phytosanitaire, qui ont échoué en Thaïlande (DEEMA *et al.*, 1974) en raison du manque d'intérêt porté à la capacité réelle des agriculteurs à mettre en oeuvre des combinaisons complexes de techniques. La mise en place d'un programme de lutte contre les ravageurs implique une transformation progressive des pratiques préexistantes.

A court terme, un tel projet consiste en recommandations tactiques, faciles à appliquer par les agriculteurs dans le cadre de contraintes imposé par leur système de production ainsi que des restrictions qu'ils imposent à toute innovation (cf. § 7.2.1). Par la suite, chaque type d'exploitation est engagé dans un processus graduel vers un programme de lutte intégrée, adapté au contexte particulier à chacun d'eux.

Le tableau 7.1 présente des propositions techniques, qui ont été testées en Thaïlande par le projet DORAS au moyen d'expérimentations menées en station et en milieu paysan. Grâce aux enquêtes sur les systèmes de culture cotonniers (§ 6.5), nous avons cherché à évaluer le degré d'adaptation de ces pratiques culturelles (compatibles avec le concept de la lutte intégrée) au fonctionnement diversifié des exploitations (Tableau 6.9).

## **7.3 QUELLES APPROCHES PRIVILEGIER POUR INTRODUIRE LES PRATIQUES DE LUTTE INTEGREE?**

L'adoption d'une innovation ne dépend pas seulement de son adéquation aux problèmes spécifiques des agriculteurs, mais aussi du mode de transfert de l'information. Les recommandations techniques doivent parvenir jusqu'à leurs futurs utilisateurs, et leur être présentées de manière compréhensible.

---

<sup>1</sup> La première variante technique du 'programme sur calendrier' consiste à augmenter la fréquence des pulvérisations (un traitement par semaine), mais à diminuer les doses de produits phytosanitaires (programme en dose-fréquence). Le stade suivant d'apprentissage de la lutte intégrée correspond aux programmes dits 'étagés-ciblés' : le choix des matières actives et celui des doses sont effectués après les observations au champ sur les ravageurs; cependant, la fréquence des traitements est déterminée à l'avance.

**Tableau 7.1.** Techniques de lutte intégrée testées par le projet DORAS en Thaïlande et leurs chances d'adoption: fortes (\*\*\*), moyennes (\*\*) ou faibles (\*), par les différents types d'exploitations (A à E) identifiés au chapitre 6.5.

Technique de lutte intégrée		Avantages	Contraintes	A	B	C	D	E
Pratique culturale	Semis précoce	- évite les infestations précoces de ravageurs - accroît le potentiel physiologique de production	- risque de pluie à la première récolte - augmente le temps d'exposition aux ravageurs	*	*	*	*	
				*	*	*	*	
Sélection variétale	Variétés à cycle court	- réduit la période d'exposition aux ravageurs - bien adapté à la mécanisation - date de semis tardive	- forte densité de semis, faible pénétration des insecticides dans la canopée - faibles possibilités de compensation				*	*
	Variétés pileuses	- rusticité - tolérance naturelle aux jassides	- augmente l'oviposition d' <i>H. armigera</i> - populations accrues d'aleurodes et de thrips	*	*	*	*	*
Technique de contrôle des ravageurs	Traitement de semence	- protection précoce contre les insectes piqueurs-suceurs - épargne des insectes auxiliaires	- choix stratégique coûteux dans la mesure où la distribution des pluies est très incertaine en début de saison - risque de populations accrues d'aleurodes et de thrips, dû à une compétition réduite avec les jassides	*	*	*	*	*
	Contrôle biologique (Bt, Virus, etc.)	- alternative au contrôle chimique insecticide - sélectivité, protection des insectes auxiliaires, pas de dégradation environnementale	- coûteux et non-disponible chez les commerçants locaux en raison de la stratégie des compagnies d'agrochimie - manipulation peu aisée - risque d'apparition de résistance d'insectes si utilisé sans précautions	*	*	*	*	*
	Collecte manuelle	- façon la plus sûre d'éliminer les stades larvaires avancés de chenilles	- très consommateur en main d'oeuvre, réservé à des surfaces limitées - les dégâts sont déjà faits	*	*	*	*	*
Programmes de pulvérisation	Programme dose - fréquence	- réduit la quantité de pesticides, première étape vers une intervention sur seuil (Cauquil and Vaissayre, 1993)	- comptage d'insectes, nécessite des aptitudes techniques particulières de la part des agriculteurs, encadrement et formation des services de vulgarisation		*	*		
	Programme étagé - ciblé	- spectre d'action étroit des insecticides sur des ravageurs ciblés (Deguine, 1993) - moins dommageable pour les insectes auxiliaires - réduit le nombre de traitement			*	*	*	*
	Seuil économique d'intervention	- économiquement et écologiquement durable		*	*	*	*	*

### *7.3.1 Les réseaux traditionnels de communication*

Les réseaux traditionnels de communication ont toujours été le mode de vulgarisation le plus efficace (§ 2.3.4.3). Cependant, l'exode rural et le développement de nouvelles activités économiques non agricoles à la campagne (tourisme, industrie agro-alimentaire, etc.) ont bouleversé les relations sociales.

Aujourd'hui, le changement est initié le plus souvent par des commerçants locaux, qui servent de relais aux sociétés privées d'agro-fourmiture. Les grandes exploitations testent les innovations puis les transmettent progressivement aux plus petites. Mais, dans le cas du cotonnier, cette dynamique naturelle de vulgarisation ne fonctionne plus. Les agriculteurs qui jouaient le rôle de 'catalyseur' des transformations techniques ont abandonné cette culture. En effet, au delà du risque phytosanitaire, le coût de la main d'oeuvre salariée est devenu trop élevé pour assurer la rentabilité d'itinéraires techniques essentiellement manuels.

L'adoption de cette culture par les grandes exploitations mécanisées redynamiserait l'ensemble de la filière.

Deux types de systèmes de culture pourraient être proposés : l'un serait inspiré des techniques de production des pays industrialisés, l'autre, essentiellement manuel, répondrait aux attentes des petits producteurs. Nous avons présenté au paragraphe précédent ce que pourrait être l'évolution des systèmes de culture actuels vers des pratiques phytosanitaires plus rationnelles. Un modèle d'itinéraire technique cotonnier mécanisé est proposé en annexe 7.1. Il devrait bien sûr être testé avant d'être proposé en priorité aux quelques agriculteurs qui disposent déjà de l'équipement nécessaire<sup>1</sup> (notamment dans la province de Lopburi).

### *7.3.2 Vers une gestion collective de la contrainte phytosanitaire ?*

Cependant, la redynamisation de la filière cotonnière reste subordonnée à la maîtrise technique de la protection phytosanitaire par les agriculteurs. Les problèmes agroécologiques de plus en plus complexes ne peuvent plus être abordés de manière simple, et nos enquêtes ont montré que le contexte socio-économique ne favorise pas l'appropriation par les agriculteurs des méthodes de lutte intégrée.

Nous avons cherché dans d'autres pays producteurs de coton, d'autres systèmes agraires, des solutions possibles au principal problème de la protection phytosanitaire en Thaïlande; à savoir : concilier les stratégies des agriculteurs à l'échelle de la parcelle et à celle de l'agroécosystème, mais aussi l'intérêt individuel et le bien collectif.

---

<sup>1</sup> Ce matériel est utilisé aujourd'hui pour la production de soja.

### 7.3.2.1 Retirer le pouvoir de décision aux agriculteurs

Dans les pays d'Afrique de l'Est tel que l'Égypte, l'État prend en charge la protection de la culture cotonnière. Des comptages d'insectes sont effectués régulièrement par un des membres de la famille sur les différentes parcelles de l'exploitation. Ces observations sont ensuite traitées par des fonctionnaires, qui déclenchent les interventions lorsque le seuil économique est dépassé à l'échelle régionale. Les pulvérisations aériennes sont prises en charge par les services de protection phytosanitaire et facturées aux producteurs (RUF, comm. pers).

En Afrique de l'ouest, des insecticides sélectionnés et contrôlés par des sociétés cotonnières sont distribués aux agriculteurs au prorata des surfaces cotonnières déclarées. Ils reçoivent la quantité nécessaire à une pulvérisation avant chaque intervention. L'encadrement rapproché des producteurs par des services de vulgarisation spécialisés dans la culture cotonnière, contribue aussi à éviter la surconsommation d'insecticides (CAUQUIL et VAISSAYRE, 1994).

### 7.3.2.2 Sensibilisation des agriculteurs

Aux Philippines et en Indonésie, l'IRRI (International rice research institute) à engagé les autorités locales dans un vaste programme de lutte intégrée appliqué à la riziculture. Des centres de formation à ces techniques sont pris en charge par les communautés villageoises (KENMORE, 1991; STUART, 1993). Les agriculteurs sont formés par d'autres agriculteurs. Cette étape d'initiation présente deux avantages majeurs :

- l'information est transmise en des termes facilement compréhensibles par les 'étudiants',
- elle introduit une forme de responsabilisation collective. Les pratiques phytosanitaires d'un producteur sont ensuite jugées par ses pairs et non pas par un vulgarisateur étranger à l'organisation sociale.

### 7.3.2.3 Gestion collective par tous les acteurs de la filière

Dans les pays industrialisés tels que les États-Unis ou l'Australie, on observe une forte intégration 'verticale' de la filière cotonnière. Les agriculteurs bénéficient des services de consultants agronomes privés, chargés de compter régulièrement les insectes et de proposer des techniques de contrôle des ravageurs (CASTOR *et al.*, 1992). Ces derniers sont en contact permanent avec les structures publiques de recherche (qui fournissent avec une semaine de décalage seulement le niveau de résistance des populations d'*H. armigera*) et de vulgarisation (qui testent les produits phytosanitaires et assurent un conseil spécialisé en culture cotonnière), ainsi que les compagnies d'agro-fourriture (FORRESTER, 1990). Les consultants fournissent à l'agriculteur toute l'information nécessaire pour prendre sa décision. Il peut choisir d'intervenir lui-même ou de confier les pulvérisations insecticides à des entreprises spécialisées, notamment pour les traitements aériens.

Le point commun de ces différentes méthodes est la spécialisation de la structure d'encadrement sur une culture déterminée. Par ailleurs, la promotion de la lutte intégrée résulte systématiquement d'une volonté politique affirmée.

Mais ces deux facteurs font défaut dans le cas de la Thaïlande. Nous avons montré au chapitre 5 que de nombreux obstacles doivent encore être levés afin d'aboutir au cadre institutionnel favorable au développement de pratiques phytosanitaires respectueuses de l'environnement. Aujourd'hui, parmi les mesures à prendre pour assurer la durabilité des systèmes de culture cotonniers des provinces de Lopburi et Kanjanaburi, on peut citer par exemple :

- un arrêt des subventions, même indirectes, aux insecticides et le respect des règlements concernant l'importation, la transformation et la distribution des pesticides,
- des travaux de recherche pluridisciplinaires en collaboration étroite avec les agriculteurs et les services de vulgarisation ainsi que les autres acteurs de la filière,
- un contrôle sur le prix du coton-graine payé au producteur,
- une reconnaissance de l'existence des agriculteurs d'ethnie Môn sur le territoire (comme c'est le cas pour les tribus Karen).

Mais en l'absence de réglementations, les producteurs préfèrent abandonner la production cotonnière. Cette stratégie est symptomatique du modèle de croissance agricole thaï, fondé sur un prélèvement systématique des ressources naturelles (TREBUIL, 1993). Cependant, les agriculteurs ne peuvent plus se contenter aujourd'hui de passer simplement à d'autres productions, car comme les cotonniers, les vergers fruitiers ou les cultures maraîchères sont touchés à leur tour (WAIBEL et SETBOONSARNG, 1992).

Le parasitisme devient un problème majeur en raison :

- du stade critique déjà atteint dans le processus de dégradation de l'environnement (avec des niveaux records de résistance des ravageurs aux insecticides),
- des coûts de production, qui réduisent la compétitivité économique de l'agriculture thaï, enfin
- des problèmes de toxicité pour les agriculteurs, qui manipulent les produits phytosanitaires; comme pour les consommateurs, en raison des résidus insecticides contenus dans les fruits et légumes notamment (TENG et HEONG, 1988).

Des solutions doivent être trouvées rapidement dans le sens d'une gestion durable de la protection des cultures. L'approche système a montré qu'elle pouvait relever le défi et s'attaquer aux composantes interconnectées d'écosystèmes fragiles où des désastres sont survenus à cause d'une gestion non rationnelle de la protection phytosanitaire.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Abeyrama T. et Weber K.E. (1988). Information dissemination in the institutional and organizational context : a case study of plant protection in rice production, Central Thailand. Division of Human Settlements Development, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Adams A.V. (1974). Report of FAO/ICP seminar on the safe, effective and efficient utilization of pesticides in agriculture and public health in Asia and the far East. FAO, Rome.
- Ahmad M. et Mac Caffery A.R. (1988). Resistance to insecticides in a Thailand strain of *Heliothis armigera* (Hübner) (Lepidoptera : Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, **81**, 45-48.
- Ahmad Z., Attique M.R. et Rashid A. (1985). An estimate of the loss in cotton yield in Pakistan attributable to the jassid *Amrasca devastans* Dist. *Crop Protection*, **5**, 105-108.
- Aikman D.P. (1991). Tuning and validation illustrated by a model of plant competition. In : *The Art and Craft of Modelling in Applied Biology*. The Queen's University of Belfast. 122-134.
- Allen T.F.H. (1987). Hierarchical complexity in ecology : a non euclidean conception of the data space. *Vegetatio*, **69**, 17-25.
- Angé A. (1984). Les contraintes de la culture cotonnière dans le système agraire de Haute Casamance au Sénégal. Thèse Doct. Ing., INA-PG, Paris.
- Anonyme (1984) *Cotton*. Monographie technique n°9, Département de l'agriculture, Ministère de l'agriculture et des coopératives, Bangkok. (en Thaï)
- Anonyme (1991) *List of insect, mite and other zoological pests of economic plants in Thailand*. Entomology and Zoology Division, Department of agriculture, Thailand.
- Anthony K.R.M. et Jones A.J. (1963). Cotton production in Thailand. *The Empire Cotton Growing Review*, **40**, 170-178.
- Ariena H.C., van Bruggen A.H.C. et Arneson P.A. (1986). Path coefficient analysis of effects of *Rhizoctonia solani* on growth and development of dry beans. *Phytopathology*, **76**, 874-878.
- ARSAP/CIRAD (1988). Regional agro-pesticide index in Asia and the Pacific, ESCAP, Bangkok
- Assouline G. (1988). Dynamiques agricoles et stratégies de l'industrie phytosanitaire dans les pays en développement. Le cas du Brésil et de la Thaïlande. *Economie Rurale*, **188**, 38-44.
- Attonaty J.M., Laporte C., Papy F. et Soler L.G. (1989). Vers de nouveaux modèles d'aide à la décision en agriculture. *Annales des Mines*, **15**, 38-48.
- Baker D.N., Lambert J.R., Phene C.J. et McKinion J.M. (1976). GOSSYM, a simulator of cotton crop dynamics. In : *Computers Applied to the Management of Large Scale Enterprises*. Proc. US-USSR Seminar, Moscow-Riga-Kishinev. 100-133.
- Bangkok Bank Ltd (1970). Agriculture. In : *Annual Report*. Bangkok Bank Ltd, Bangkok, Thailand.
- Bangkok Post (1979). Pesticides declaring war on crop-killers. *Bangkok Post Supplement*, 31 December.
- Beaud M., Beaud C. et Bouguerra M.L. (1994). L'état de l'environnement dans le monde. Fondation pour le Progrès de l'Homme, Paris.

- Beeden P. (1974). Bollworm oviposition on cotton in Malawi. *Cotton Growing Review*, **51**, 52-61.
- Beller S. et Bhenchitr, P. (1936). *Preliminary list of insect pests and their host plants in Siam*. Section of entomology, Department of agriculture and fisheries, Bangkok, Siam.
- Benor D. et Michael B. (1984). *Agricultural extension : the training and visit system*. The World Bank, Washington D.C.
- Benzécri J.P. et al. (1973). *L'analyse de données*. Vol. II. *L'Analyse des correspondances*. Dunod, Paris.
- Black R., Jonglaekha N. et Thanormthin V. (1987). Problems concerning pesticide use in highland agriculture, Northern Thailand. In : (E.J. Tait et B. Napompeth Ed.), *Management of Pest and Pesticides. Farmers' Perceptions and Practices*. Westview Press, Boulder and London. 28-37.
- Blackie M.J. et Dent J.B. (1974). The concept and application of skeleton models in farm business analysis and planning. *Journal of Agricultural Economics*, **25**, 165-175.
- Boon-Long J., Glinsukon T., Pothisiri P., Srianjata S., Suphakarn V. et Wongphanich M. (1986). Toxicological problems in Thailand. In : (M. Ruchirawat et R.C. Shank Ed.), *Proceedings of the Regional Workshop : Environmental Toxicity and Carcinogenesis*. Mahidol University, Bangkok, Thailand. 283-293.
- Boote K.J., Batchelor W.D., Jones J.W., Pinnschmidt H. et Bourgeois G. (1993). Pest damage relations at the field level. In : *Systems Approaches for Agricultural Development*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London. 277-296.
- Boote K.J., Jones J.W., Mishoe J.W. et Berger R.D. (1983). Coupling pests to crop growth simulators to predict yield reductions. *Phytopathology*, **73**, 1581-1587.
- Bottrell D.G. et Adkisson P.L. (1977). Cotton insect pest management. *Annual Review of Entomology*, **22**, 451-481.
- Brader L. (1979). Integrated pest control in the developing world. *Annual Review of Entomology*, **24**, 225-254.
- Bradner R. et Fletcher K.E. (1974). Insect infestations and their effects on growth and yield of field crops : a review. *Bulletin of Entomological Research*, **64**, 141-160.
- Braud M. (1987). La fertilisation d'un système de culture dans les zones cotonnières soudano-sahéliennes. *Coton et Fibres Tropicales*, CIRAD, Montpellier.
- Breitenbach C.A. (1963). A review of cotton research methodology in Thailand. USOM, Bangkok, Thailand.
- Brown P.W., Watson T.F. et Silvertooth J.C. (1993). Weather conditions associated with outbreaks of severe whitefly infestations in Arizona. In : *Proceedings 1993 Beltwide Cotton Insect Research and Control Conference*. 702-705.
- Brummelhuis H.ten et Kemp J.H. (1984). *Strategies and structures in Thai society*. Department of South and Southeast Asian Studies, Anthropological-Sociological Centre, University of Amsterdam, Amsterdam.
- Butt D.J. et Royle D.J. (1974). Multiple regression analysis in the epidemiology of plant disease. In : (J. Kranz Ed.), *Epidemics of Plant Diseases*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 78-114.

- Buxton D.R., Briggs R.E., Patterson L.L. et Watkins S.D. (1977). Canopy characteristics of narrow-row cotton as influenced by plant density. *Agronomy Journal*, **69**, 929-933.
- Campbell C.L. et Madden L. (1990). Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley & Sons, New York.
- Capillon A. (1988). Jugement des pratiques et fonctionnement des exploitations. In : *Pour une Agriculture Diversifiée*. L'Harmattan, Paris. 124-133.
- Capillon A. (1993). Typologie des exploitations agricoles, contribution à l'étude régionale des problèmes techniques. Ph.D. Dissertation, Institut National Agronomique Paris-Grignon.
- Capillon A. et Manichon H. (1988). Guide d'étude de l'exploitation agricole à l'usage des agronomes. Relance agronomique ADEPRINA - APCA, Paris.
- Caron H. (1992). Etude de la résistance chez une souche Thaïlandaise de *Helicoverpa armigera* Hbn. Mémoire de DEA Stage complémentaire 1, USTL, Montpellier.
- Castella J.C. (1993). Implementing the systems approach in cotton pest management. In : *Proceedings of the Tenth Thailand National Farming Systems Seminar*. Kasetsart University, Thailand. 12 p.
- Castella J.C., Chantharat B., Thirasack S. et Trébuil G. (1993). Le cotonnier au Laos, les enseignements d'une expérience de Recherche-Développement-Formation. Centre National de la Recherche Agronomique, Ministère de l'Agriculture et des Forêts de la RDP Lao & Coopération Agricole Bilatérale Française, Vientiane, RDP Lao.
- Castella J.C., Swangsri W. et Kimnarux J. (1994). Thai cotton growers still far away from IPM : contribution of systems approach to a better understanding of farmers' practices. In : *Proceedings of the World Cotton Research Conference - 1, Brisbane*. Australie.
- Castella J.C. et Trébuil G. (1992). La filière cotonnière en Thaïlande. In : *Compte Rendu de la Rencontre Internationale « Agriculture Familiale et Politique Agricole »*. GRET-FPH & Ministère de l'Agriculture, Phnom Penh, Cambodge. 159-172.
- Castella J.-C., Sayampol N., Prampree P., Kimnarux J. et Trébuil G. (1992). Diagnosis on farming systems functioning and farmers decision making in Kanjanaburi Province. Hypotheses for improvement of the sustainability of maize-cotton cropping system. In : *Proceedings of the Ninth Thailand National Farming Systems Seminar*. , Phuket, Thailand. 313-324.
- Castor P., Lucy M. et Pyke B. (1992). Australian Dryland Cotton Production Guide. Department of Primary Industries, Queensland Government & NSW Agriculture, Dalby, Australia.
- Cauquil J., Couilloud R., Girardot B., Goze E., Jouve G. et Vaissayre M. (1989). Méthodologie de l'expérimentation phytosanitaire en culture cotonnière. Document interne non publié, 2<sup>ème</sup> édition.
- Cauquil J. et Vaissayre M. (1993). The implementation of IPM on cotton in Subsaharan Francophone Africa. Unpublished Technical Paper, CIRAD-CA, France.
- Cauquil J. et Vaissayre M. (1994). Protection phytosanitaire du cotonnier en Afrique tropicale. *Agriculture et développement*, **3**, 13-23.
- Chanteau J.P. (1993). Dossier : « Pesticides, un scandale qui dure ». *Courrier de la Planète*, **14**, 21-31.
- Chevalier-Gérard C. (1994). Modélisation de la perte de rendement due aux maladies cryptogamiques sur blé tendre d'hiver. Application à la conception d'itinéraires techniques à bas niveaux

- d'intrants à l'aide du simulateur « DECIBLE ». Thèse de Docteur-Ingénieur, Institut National Agronomique Paris-Grignon.
- Chiang H.C. (1979). A general model of the economic threshold level of pest populations. *F.A.O. Plant Protection Bulletin*, **27**, 71-73.
- Chiang H.C. (1982). Factors to be considered in refining a general model of economic threshold. *Entomophaga*, **27**, 99-103.
- Chitkrua T. (1980). Quantitative analysis of efficiency : a case study of the thai textile industry. Master of Economics Thesis, Thammasat University, Bangkok, Thailand.
- CIMMYT (1988). From agronomic data to farmer recommendations : an economics training manual. Mexico, D.F.
- CIRAD (1994). CD-ROM : Coton-Doc. AUPELF - UREF, CIRAD-CA, Montpellier.
- Cognée M. (1974). Modalités de l'abscission post-florale chez le cotonnier, liaison avec quelques facteurs internes. *Coton et Fibres Tropicales*, **29**, 447-462.
- Collins M.D. (1986). Pyrethroid resistance in the cotton bollworm, *H. armigera* - A case study from Thailand. In : *Proceedings of the 1986 British Crop Protection Conference - Pest and Diseases*. 583-589.
- Constable G.A. (1976). Temperature effects on the early field development of cotton. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, **16**, 905-910.
- Constable G.A. (1986). Growth and light receipt by mainstem cotton leaves in relation to plant density in the field. *Agricultural and Forest Meteorology*, **37**, 279-292.
- Constable G.A. (1991). Mapping the production and survival of fruit on field grown cotton. *Agronomy Journal*, **83**, 374-378.
- Constable G.A. et Gleeson A.C. (1977). Growth and distribution of dry matter in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Australian Journal of Agricultural Research*, **28**, 249-256.
- Constable G.A., Harris N.V. et Paull R.E. (1976). The effect of planting date on the yield and some fibre properties of cotton in the Namoi Valley. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, **16**, 265-271.
- Constable G.A. et Rawson H.M. (1980). Effect of leaf position, expansion and age on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of cotton. *Australian Journal of Plant Physiology*, **7**, 89-100.
- Constable G.A., Rochester I.J., Betts J.H. et Herridge D.F. (1991). Prediction of nitrogen fertilizer requirement in cotton using petiole and sap nitrate. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **22**, 1315-1324.
- Conway G.R. (1984). Pest and pathogen control : strategic, tactical and policy models. Wiley, Chichester.
- Conway G.R. et Pretty J.N. (1991). Pollution and farming systems. *Journal of the Asian Farming Systems Association*, **1**, 29-53.
- Cook R. J. (1985) Use of the term 'crop loss'. *Plant Disease*, **69**, 95.

- Cox P.G. et Forrester N.W. (1992). Economics of insecticide resistance management in *Heliothis armigera* (Lepidoptera : Noctuidae) in Australia. *Journal of Economic Entomology*, **85**, 1539-1550.
- Crétenet M. et Vaissayre M. (1986). Modèle de décision appliqué à l'interaction entre fertilisation minérale et protection phytosanitaire en culture cotonnière. *Coton et Fibres Tropicales*, **41**, 89-96.
- Crowther F. (1934). Studies in growth analysis of the cotton plant under irrigation in the Sudan. The effect of different combinations of nitrogen applications and water supply. *Annals of Botany*, **48**, 877-913.
- Crozat Y., Castella J.C., Kasemsap P. et Saimaneerat A. (1994). Guidelines for the interpretation of the variability of seed-cotton yield in Thailand. DORAS Project, Kasetsart University.
- David E. et Garin M. (1987). La Thaïlande. In : Dynamiques agricoles et stratégies de l'industrie agrochimique dans les pays en développement. Cas du Brésil et de la Thaïlande. Groupe de Réalisations Audiovisuelles pour le Développement (GRAD) & Fondation pour le Progrès de l'Homme (FPH), Paris, France. 71-159.
- Deema P., Thongdeetaa S., Hongtrakula T., Oonchitrawattana T., Singhasene Y. et Lippold P. (1974). Integrated control of cotton pests in Thailand. *Plant Protection Service Technical Bulletin No. 23* Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand.
- Deguine J.-P., Ekukole G. et Amiot E. (1993). Targeted staggered control : a new insecticide programme on cotton in Cameroon. *Coton et Fibres Tropicales*, **48**, 99-119.
- Delalande P. (1971). Rapport annuel, section entomologie, campagne cotonnière 1969-1970. IRCT, Department of Agriculture, Bangkok, Thailand.
- Department of Agricultural Extension (1994). Project for improving structures and production systems in agriculture, years 1994/1996. Department of Agricultural Extension, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand. (en Thai)
- Department of Agriculture (1981). Imported poisonous articles 1980. Sub-Division of Poisonous Articles, Agricultural Regulatory Division, Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand.
- Department of Agriculture (1983). Pesticides brought in or imported : year 1982. Sub-Division of Pesticide Regulatory, Agricultural Regulatory Division, Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand.
- Department of Agriculture (1984). Pesticides brought in or imported : year 1983. Sub-Division of Pesticide Regulatory, Agricultural Regulatory Division, Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand.
- Department of Agriculture (1990). Annual research reports : cotton crop 1979-1990. *Abstracts* Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand.
- Dervin C. (1990). Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle des correspondances. ITCF, Paris.
- De Wit C. T. (1982). La productivité des pâturages sahéliens. In : La productivité des pâturages sahéliens - Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle (F. W. T. Penning de Vries et M. A. Djiteye, eds). Pudoc, Wageningen. 1-18.
- De Wit C.T. et Goudriaan J.G. (1978). Simulation of ecological processes. Pudoc, Wageningen.

- Division of Agricultural Economics (1978 - 1994). Cotton production costs. Division of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand. (en Thai)
- Division of Agricultural Economics (1989). Programme de développement de la culture cotonnière. Division of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand. (en Thai)
- Division of Agricultural Economics (1994). Survey report on cotton, crop year 1989/90 - 1992/93. Division of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand. (en Thai)
- DOA (1984). Technical Document No. 9 on Cotton. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand.
- DOA (1992). Conseils pour l'utilisation d'insecticides en protection de la culture cotonnière. Division d'entomologie et zoologie, Département de l'Agriculture, Ministère de l'Agriculture et des Coopératives, Bangkok. (en Thai)
- DOAE (1994). Extension programme on integrated cotton production : 1994/95. Department of Agricultural Extension, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand. (en Thai)
- DORAS (1992). Rapport d'activité dans le domaine de la protection de la culture cotonnière 1991/1992. DORAS Project, Kasetsart University, IRCT-CIRAD, Thaïlande.)
- DORAS (1993). Annual report 1992/1993 - Cotton crop protection. DORAS Project, Kasetsart University, CIRAD-CA, Thailand.)
- DORAS (1994). Annual report 1993/1994 - Cotton crop protection. DORAS Project, Kasetsart University, CIRAD-CA, Thailand.
- Dupré G. (1991). Savoirs paysans et développement. Editions Karthala, ORSTOM, Paris.
- Durongkittikule S. (1992) Effect of crop protection and fertilizer on seed-cotton production in Kanjanaburi province. Msc. Thesis. Department of Horticulture. Kasetsart University, Thailand (en Thai).
- Ehlig C.F. et LeMert R.D. (1973). Effects of fruit load, temperature, and relative humidity on boll retention of cotton. *Crop Science*, 13, 168-171.
- Ekachai S. (1990). Behind the Smile, Voices of Thailand. Thai Development Support Committee, Bangkok.
- Eldin M. et Milleville P. (1989). Le risque en agriculture. *Collection à travers champs*, Editions de l'ORSTOM, Paris.
- Evans D.E. (1965). The distribution of *Empoasca lybica* (de Berg) (Hemiptera : Cicadellidae) on cotton in the Sudan. *Bulletin of Entomological Research*, 56, 635-647.
- Evenson J.P. (1987). A report on cotton research in the Thai department of agriculture. Australian Co-operation with the National Agricultural Research Project (ACNARP), Ministry of Agriculture and Cooperatives of Thailand, Bangkok.
- Falcon L.A. et Smith R.F. (1973). Guidelines for integrated control of cotton insect pests. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO (1968). Report of the first session of the FAO panel of experts on integrated pest control. *FAO Meeting Report #PL/1967/M/7* UN Food and Agricultural Organization, Rome.

- FAO (1990). International code of conduct on the distribution and use of pesticides. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO/UNDP (1989). Integrated pest control for secondary crops in Thailand. Project findings and recommendations. United Nations Development Programme & Food and Agriculture Organization, Rome.
- Farbrother H.G. (1952). Progress report in experimental station, Uganda, 1951-52. Empire Cotton Grow. Corp., London.
- Feder G. (1980). Farm size, risk aversion and the adoption of new technology under uncertainty. *Oxford Economic Papers*, **32**, 263-282.
- Feder G., Onchan T. et Chalamwong Y. (1988). Land policies and farm performances in Thailand's forest reserve areas. *Economic Development and Cultural Change*, **36**, 483-499.
- Fitt G.P. (1989). The ecology of *Heliothis* species in relation to agroecosystems. *Annual Review of Entomology*, **34**, 17-52.
- Fitt G.P. et Tann C. (1994). Studies of *Helicoverpa* dispersal within the cotton ecosystem. In : (G.A. Constable et N.W. Forrester Ed.), *Proceedings of the World Cotton Conference - 1, february 1994*. Brisbane, Australia.
- Forrester J.W. (1961). Industrial dynamics. M.I.T.-Press, Cambridge, Massachusetts.
- Forrester N.W. (1990). Designing, implementing, and servicing an insecticide resistance management strategy. *Pesticides Science*, **28**, 167-179.
- Forrester N.W. et Fitt G.P. (1991). Management of insecticide resistance in *Heliothis armigera* in Australia - ecological and chemical countermeasures. In : (I. Denholm, A.L. Devonshire et D.W. Hollomon Ed.), *Resistance '91 : Achievements and Developments in Combating Pesticide Resistance*. Elsevier Applied Science, London & New York. 88-99.
- Forrester N.W. et Wilson A.G.L. (1988). Insect pest of cotton. AGFACTS, Department of Agriculture, New South Wales, Australia.
- Franquin P. (1966). Les équations climatiques du développement : intérêt agronomique. *L'Agronomie Tropicale*, 1370-1381.
- Franquin P. (1973). Analyse agroclimatique en région tropicales, méthode des intersections et période fréquentielle de végétation. *L'Agronomie Tropicale*, **28**, 665-682.
- Franquin P. (1985). Compétition, développement, morphogénèse du cotonnier et production de la plante. *Acta Oecologica*, **6**, 153-167.
- Gaillard J. (1988). Histoire et développement de la communauté scientifique thaïlandaise. Département « Société, Développement, Urbanisation », Réalités et stratégies du développement, Document de travail No 11.
- Gameel O.I. (1974). Some aspects of the mating and oviposition behaviour of the cotton whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.). *Revue de Zoologie et Botanie Africaine*, **88**, 784-788.
- Gaston C.P. (1989). Promoting safe and efficient use of pesticides. In : *Environment and Agriculture : Environmental Problems Affecting Agriculture in the Asia Pacific*. FAO, Bangkok, Thailand. 63-77.
- Genay J.P. (1994). Trois années d'expérimentation phytosanitaire sur cotonnier en Thaïlande (1991-1993) : bilan et perspectives. Documents de travail du CIRAD-CA N°4-94, Montpellier.

- Genay J.P., Pooprompan P., Trébuil G. et Kimnarux J. (1993). Optimizing cotton cultivation using IPM : preliminary results for the vegetative phase. In : *Proceedings of the Tenth Thailand National Farming Systems Seminar*. Kasetsart University, Thailand. 9 p.
- Giorgioui (1986). Plant protection and world crop production. Pflanzenschutznachrichten Bayer, Leverkusen.
- Gips T. (1987). A case study of insect pest management in cotton : success with IPM. In : *Breaking the Pesticide Habit : Alternative to Twelve Hazardous Pesticides*. International Organization of Consumers Unions, Penang, Malaysia. 40-57.
- Granger S. (1992). Typologie de fonctionnement de prairies permanentes pâturées. Essai d'identification des voies à prospecter pour la gestion des prairies de l'Auxois. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne.
- Graves J.B., Leonard B.R., Micinski S., Burris E., Martin S.H., White C.A. et Baldwin J.L. (1993). Monitoring insecticide resistance in tobacco budworm and bollworm in Louisiana. In : *Proceedings 1993 Beltwide Cotton Insect Research and Control Conference*. USA. 788-794.
- Greenacre M.J. (1984). Theory and applications of correspondance analysis. Academic Press, London.
- Grimble R.J. (1971). The economics of cotton production. Foreign and Commonwealth Office, Overseas Development Administration, London.
- Grimble R.J. (1973). The central highlands of Thailand : a study of farming systems. Wye College, University of London, London.
- Grisely W. et Kellog E. (1987). Risk taking preferences of farmers in Northern Thailand : measurement and implications. *Agricultural Economics*, 1, 127-142.
- Gutierrez A.P., Falcon L.A., Loew W., Liepzig P.A. et van den Bosch R. (1975). An analysis of cotton production in California : a model for Acala cotton and the effect of defoliators on its yields. *Environmental Biology*, 4, 125-136.
- Hake K.D., Bourland F.M. et Kerby T.A. (1991). Early season management : how can mapping help ? In : *Proceedings 1993 Beltwide Cotton Physiology Conference*. USA. 100-102.
- Hamelink J. et Kaewjantuk S. (1988). Factors affecting the success of extension-communication strategies used in a rice pest surveillance program in Thailand. In : (P.S. Teng et K.L. Heong Ed.), *Pesticide Management and Integrated Pest Management in Southeast Asia*. Consortium for International Crop Protection, College Park, Maryland, USA. 229-234.
- Hassan S.T.S. et Wilson L.T. (1993). Simulated larval feeding damage patterns of *Heliothis armigera* (Hübner) and *H. punctigera* (Wallengren) (Lepidoptera : Noctuidae) on cotton in Australia. *International Journal of Pest Management*, 39, 239-245.
- Hearn A.B. (1969). Growth and performances of cotton in a desert environment. I. Morphological development of the crop. *Journal of Agricultural Science*, 73, 65-74.
- Hearn A.B. (1972). The growth and performances of rain grown cotton in a tropical upland environment. II. The relationship between yield and growth. *Journal of Agricultural Science*, 79, 137-145.
- Hearn A.B. (1994). OZCOT : A simulation model for cotton crop management. *Agricultural Systems*, 44, 257-299.
- Hearn A.B. et Constable G.A. (1984). Cotton. In : (P.R. Goldsworthy et N.M. Fisher Ed.), *The Physiology of Tropical Food Crops*. John Wiley & Sons Ltd, . 495-527.

- Hearn A.B. et Da Roza G.D. (1985). A simple model for crop management applications for cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Research*, **12**, 49-69.
- Hearn A.B., Ives P.M., Room P.M., Thomson N.J. et Wilson L.T. (1981). Computer-based cotton pest management in Australia. *Field Crops Research*, **4**, 321-332.
- Hearn A.B. et Room P.M. (1979). Analysis of crop development for cotton pest management. *Protection Ecology*, **1**, 265-277.
- Heath O.V.S. (1937). Growth and height and weight of cotton plants under field conditions. *Annals of Botany*, **1**, 514-520.
- Heong K.L. (1991). Modeling in the analysis of pest management strategies. In : (F.W.T. Penning de Vries, M.J. Kropff, P.S. Teng et G.J.D. Kirk Ed.), *Systems Simulation at IRRRI*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 35-38.
- Hesketh J.D., Baker D.N. et Duncan W.G. (1972). Simulation of growth and yield in cotton. II. Environmental control of morphogenesis. *Crop Science*, **12**, 436-439.
- Hirsch P. (1987). Deforestation and development in Thailand. *Singapore Journal of Tropical Geography*, **8**, 129-138.
- Huxley P.A. (1964). Some effects of artificial shading on the growth of upland cotton seedlings. *The Empire Cotton Growing Review*, **41**, 100-113.
- Ingram J.C. (1950). Economic change in Thailand, 1850-1970. Stanford University Press, Stanford, California.
- IPCS (1992). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 1992-1993. International Programme on Chemical Safety, United Nations, Washington.
- Ives P.M., Wilson L.T., Cull P.O., Palmer W.A. et Haywood C. (1984). Field use of SIRATAC : an australian computer-based pest management system for cotton. *Protection Ecology*, **6**, 1-21.
- Jalavicharana K. (1969). Patanga outbreak in Thailand in 1963. *Technical Bulletin No. 11* Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Thailand.
- Jan-orn J. (1989). Opinions on cotton hybrid, breeding and situation in Thailand. *Technical Report No. 3/1989* Field Crop Research Institute, Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand.
- Johnson K.B. (1992). Evaluation of a mechanistic model that describes potato crop losses caused by multiple pests. *Phytopathology*, **82**, 363-369.
- Johnson K.B., Radcliffe E.B. et Teng P.S. (1986). Effect of interacting populations of *Alternaria solani*, *Verticillium dahliae* and the potato leafhopper (*Empoasca fabae*) on potato yield. *Phytopathology*, **76**, 1046-1052.
- Jones A.J. et Wangboonkong S. (1966). Notes on cotton insect pests and their control. Ministry of Agriculture and Co-operatives, Thailand.
- Jones J.W., Brown L.G. et Hesketh J.D. (1980). COTCROP : a computer model for cotton growth and yield. In : (J.W. Hesketh et J.W. Jones Ed.), *Predicting Photosynthesis for Ecosystem Models*. CRC Press, Boca Raton, Florida.

- Joyce R.J.V. (1958). Effect of the cotton plant in the Sudan Gezira on certain leaf-feeding insect pests. *Nature*, **182**, 1463-1464.
- Joyce R.J.V. (1981). A critical review of the role of chemical pesticides in *Heliothis* management. In : (W. Reed Ed.), *International Workshop on Heliothis Management*. ICRISAT, Hyderabad. 173-188.
- Kamlang-ek V. (1990). An assessment of the knowledge, attitudes, and behavior regarding pesticide application of thai orchid nursery workers. Ph.D. Dissertation, University of Hawaii.
- Kenmore P.E., Heong K.L. et Putter C.A. (1985). Political, social and perceptual aspects of integrated pest management programmes. In : (B.S. Lee, W.H. Loke et K.L. Heong Ed.), *Proceedings of the Seminar on Integrated Pest Management in Malaysia*. Malaysian Plant Protection Society, Kuala Lumpur, Malaysia. 47-66.
- Kenmore P.E., Litsinger J.A., Bandong J.P., Santiago A.C. et Salac M.M. (1987). Philippine rice farmers and insecticides : thirty years of growing dependency and new options for change. In : (J. Tait et B. Napompeth Ed.), *Management of Pest and Pesticides : Farmers' Perceptions and Practices*. Westview Studies Press, London. 98-107.
- Kenmore P.E. (1991). Indonesia's Integrated Pest Management - A model for Asia. FAO, Rome.
- Kerby T. et Hake K. (1994). Monitoring cotton's growth. In : *Cotton Production*. ANR Publications, University of California, USA.
- Kerns D.L. et Gaylor M.J. (1991). Induction of cotton aphid outbreaks by the insecticide sulprofos. In : *Proceedings 44th Beltwide Cotton Insect Research and Control Conference*. USA. 699-701.
- Khoo Soo-G. (1990). Use of natural enemies to control agricultural pests in Malaysia. In : *Proceedings of the International Seminar « The Use of Parasitoids and Predators to Control Agricultural Pests »*. Food and Fertilizer Technology Centre for the Asian and Pacific Region, Taipei, Taiwan. 30-39.
- Kittock D.L., Henneberry T.J., Bariola L.A., Taylor B.B. et Hofmann W.C. (1983). Cotton boll period response to water stress and pink bollworm. *Agronomy Journal*, **75**, 17-20.
- Kranz J. et Hau B. (1980). Systems analysis in epidemiology. *Annual Review of Phytopathology*, **18**, 67-83.
- Kusakabe K. et Higuchi Y. (1992). A case study of discontinuance : cotton contract farming in Kanchanaburi Province, Thailand. Division of Human Settlements Development, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Lane A.B. et Tait E.J. (1987). Educating and training pest managers : the role of distance teaching. In : (E.J. Tait et B. Napompeth Ed.), *Management of Pest and Pesticides. Farmers' Perceptions and Practices*. Westview Press, Boulder and London. 22-27.
- Lebart L., Morineau A. et Fénelon J.P. (1982). Traitement des données statistiques. Méthodes et programmes. Dunod, Paris.
- Lendres P., Faure G. et Belem P.C. (1992). Pratiques paysannes et utilisation des intrants en culture cotonnière au Burkina Faso. *Revue Scientifique du Tchad*, **2**, 169-180.
- Lendres P. (1992). Pratiques paysannes et utilisation des intrants en culture cotonnière au Burkina Faso. Mémoire de fin d'études, CNEARC, Montpellier.

- Lippold P.C. (1973). Plant quarantine technical training : agricultural insect pests of Thailand. *Plant Protection Technical Bulletin No. 16* Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand.
- Loison M. (1993). La lutte biologique sur le terrain. *Biofutur*, 124, 41-44.
- Luttrell R.G. (1993). Strategies for resistance management. In : *Proceedings 1993 Beltwide Insect resistance management Conference*. USA. 15-19.
- Luttrell R.G., Bowden R.O. et Shin W.S. (1991). Cotton insect control recommendations : diversity of expert opinion. In : *Proceedings 44th Beltwide Cotton Insect Research and Control Conference*. USA. 668-671.
- Mabbett T.H. (1979). Guidelines for the management of cotton pests. Part 3. The cotton Whitefly (*Bemisia tabaci*). *Technical Booklet No. 3* Cotton Pest Management Project, Entomology and Zoology Division, Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand.
- Mabbett T.H. (1980). Guidelines for the management of cotton pests. Part 2. The cotton jassid (*Empoasca devastans*). *Technical Booklet No. 2* Cotton Pest Management Project, Entomology and Zoology Division, Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand.
- Mabbett T.H. (1982). Guidelines for the management of cotton pests. Part 4. The american bollworm (*Heliothis armigera*). *Technical Booklet No. 4* Cotton Pest Management Project, Entomology and Zoology Division, Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand.
- Mabbett T. et Nachapong M. (1980). The development of simple scouting techniques for cotton jassid (*Amrasca devastans* Distant). *Thai Journal of Agricultural Science*, 13, 21-27.
- Matthews G.A. (1989). Cotton insect pests and their management. Longman Publishers Ltd, London.
- Mauney J.R. (1979). Production of fruiting points. In : *1979 Beltwide Cotton Production Research Conference Proceedings*. 256-260.
- McKinion J.M. et Baker D.N. (1989). Application of the GOSSYM/COMAX System to cotton crop management. *Agricultural Systems*, 31, 55-65.
- Meyer V.G. (1969). Some effects of genes, cytoplasm and environment on male sterility of cotton (*Gossypium*). *Crop Science*, 9, 237-242.
- Meynard J.M. (1990). Construction d'itinéraires techniques pour le blé d'hiver : quelques pistes de réflexion. In : (L. Combe et D. Picard Ed.), *Les Systèmes de Culture*. INRA, Paris. 17-26. ()
- Meynard J.M. et David G. (1992). Diagnostic de l'élaboration du rendement des cultures. *Cahiers Agricultures*, 1, 9-19.
- Micinski S., Colyer P.D., Nguyen K.T. et Koonce K.L. (1993). Effects of planting date on the early season pest complex and yield in cotton. Agricultural Center, Louisiana State University, Baton rouge, USA.
- Ministry of Agriculture and Co-operatives (1955 - 1994). Agricultural statistics of Thailand. Agricultural Economics Division, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand.
- Ministry of Public Health (1994). Annual epidemiological surveillance report 1992. Division of Epidemiology, Ministry of Public Health, Bangkok, Thailand.

- Mizuno K. (1975). Thai pattern of social organization : note on a comparative study. *Journal of Southeast Asian Studies*, 6, 127-134.
- Molle F. et Valette F. (1994). Quelques réflexions sur l'apport de la modélisation dans les recherches-système. In : *Actes du Symposium International « Recherches-système en agriculture et développement rural »*. CIRAD-SAR, Montpellier. 193-198.
- Morris D.A. (1964). Variation in the boll maturation period of cotton. *The Empire Cotton Growing Review*, 41, 114-123.
- Mound L.A. et Hasley S.M. (1978). Whiteflies of the world. John Wiley Press, British Museum London.
- Mumford J.D. et Norton G.A. (1984). Economics of decision making in pest management. *Annual Review of Entomology*, 29, 157-174.
- Munro J.R. et Farbrother H.G. (1969). Composite plant diagrams in cotton. *Cotton Growing Review*, 46, 261-282.
- Mutsaers H.J.W. (1983). Leaf growth in cotton (*Gossypium hirsutum L.*) - 1. Growth in area of main-stem and sympodial leaves. *Annals of Botany*, 51, 503-520.
- Nachapong M., Legg D.E., Kittiboonya S. et Wangboonkong S. (1989). Validation of computer simulated presence-absence sequential sampling plans for the cotton bollworm (*Heliothis armigera* Hübner) in cotton. *Thai Journal of Agricultural Science*, 22, 293-302.
- Napompeth B. (1981). Thailand national profile on pest management and related problems. *Special Publication No. 4*, National Biological Control Research Center, Kasetsart University / National Research Council, Bangkok.
- Napompeth B. (1990). Use of natural enemies to control agricultural pests in Thailand. In : *Proceedings of the International Seminar « The Use of Parasitoids and Predators to Control Agricultural Pests »*. Food and Fertilizer Technology Centre for the Asian and Pacific Region, Taipei, Taiwan. 8-27.
- Napompeth B. (1993). Integrated pest management in Thailand. *BIOTROP Special Publication*, 50, 27-35.
- National Research Council (1986). Pesticide resistance : strategies and tactics for management. National Academy Press, Washington D.C.
- NESDB/JICA (1990). Upper central region study. A tri-sector balanced region emerging from metropolitan shadow. National Economic and Social Development Board - Japan International Cooperation Agency, Bangkok, Thailand.
- Nibouche S. et Gozé E. (1993). Efficacité et rentabilité de la protection phytosanitaire vulgarisée en culture cotonnière au Burkina Faso. *Coton et Fibres Tropicales*, 48, 177-188.
- Norton G.A. (1982). A decision analysis approach to integrated pest control. *Crop Protection*, 1, 147-164.
- Norton G.A. et Mumford J.D. (1983). Decision making in pest control. *Advances in Applied Biology*, 8, 87-119.
- Odebiyi J.A. (1982). Parasites of the cotton leafroller *Sylepta derogata* (F.) (Lepidoptera : Pyralidae), in south-western Nigeria. *Bulletin of Entomological Research*, 72, 329-333.
- Onchan T. (1983). Farm mechanization policy in Thailand. In : *The Consequences of Small Rice Farm Mechanization in Thailand*. NESDB and Kasetsart University, Bangkok, Thailand. 313-339.

- Onchan T. (1984). Credit problems of farmers in Thailand. In : *Farm Credit Situation in Asia*. Asian Productivity Center, Tokyo. 51-71.
- Ouchaichon K. (1991). Niveaux de résistance aux insecticides chez *H. armigera*, *A. biguttula* et *A. gossypii* en Thaïlande. Résultats de tests DL50 (non publiés).
- Oudejans J.H. (1991). Agro-pesticides : properties and functions in integrated crop protection. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP) - United Nations, Bangkok.
- Palis F., Pingali P. et Litsinger J. (1989). Multiple pest threshold for rice production : the case of the Philippine. In : Paper presented at the International DLG Symposium on Integrated Pest Management in Tropical and Subtropical Cropping Systems. Feb. 8-15, 1989, Bad Duerkheim, Germany.
- Panapanaan V.M. (1991). Factors in the spread of brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stal.) outbreaks in Central Thailand. M.Sc. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Panboua K. (1994) Transformation of the agrarian system in Chaibadan area, Changwat Lopburi. Msc Thesis, Department of agricultural extension, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (en Thai).
- Parvin D.W. Jr. (1991). Interaction of crop phenology and insect management : an economist's view. In : *Proceedings 44th Beltwide Cotton Economics & Marketing Conference*. USA. 420-425.
- Pearson E.O. (1958). The insect pests of cotton in Tropical Africa. Emp. Cott. Gr. Corp. and Commonw. Inst. Ent. London.
- Peoples T.R. et Matthews M.A. (1981). Influence of boll removal on assimilate partitioning in cotton. *Crop Science*, 21, 283-286.
- Pholboon, P. (1965) *A host list of the insects of Thailand*. Department of agriculture. Royal Thai government.
- Phongprapai S. et Setty E.D. (1988). Agricultural extension in Thailand : a study of the training and visit system. Division of Human Settlements Development, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Pinnschmidt H., Teng P.S., Yuen J.E. et Djurle A. (1990). Coupling pest effects to the IBSNAT CERES crop model for rice. *Phytopathology*, 80, 997.
- Plapp F.W. Jr. (1993). Alternate strategies for insect control and resistance management : possibilities and future prospects. In : *Proceedings 1993 Beltwide Cotton Insect Research and Control Conference*. 698-701.
- Poate D. (1988). A review of methods for measuring crop production from small-holder producers. *Experimental Agriculture*, 24, 1-14.
- Radin J.W. et Elmore C.D. (1980). Concepts of translocations with special reference to the assimilation of nitrogen and its movement into fruits. In : (J.D. Hesketh et J.W. Jones Ed.), *Predicting Photosynthesis for Ecosystem Models*. CRC Press, Boca Raton, Florida. 143-154.
- Rajinchapel-Messaï J. (1993). *Bacillus thuringiensis* : les insectes font de la résistance. *Biofutur*, 127, 33-38.
- Rasmidatta V. (1984). Crop calendar for cotton in Thailand. *Thai Journal of Agricultural Science*, 17, 239-245.

- Ratanadilok N. (1990). Integrated technology development for cotton production in the Great Mae Klong. Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom Province, Thailand.
- Reddy G.P.V., Murthy M.M.K. et Deva Prasad V. (1990). Integrated pest Management in cotton with special reference to *Heliothis* and *Bemisia* control. In : (K. Holly, L.S. Copping et G.T. Brooks Ed.), *Proceedings of the International Seminar « Recent Developments in the Field of Pesticides and Their Application to Pest Control »*, Shenyang, The People's Republic of China, 8-12 October 1990. United Nations, Washington D.C., 350-370.
- Reed W. (1964). Problems posed by early sowing of cotton in Lake Region, Tanganyika. *The Empire Cotton Growing Review*, 41, 255-260.
- Richard J.L. et George C. (1986). L'approche psychologique de la cognition. In : (J.L. Le Moigne Ed.), *Intelligence des Mécanismes. Mécanismes de l'Intelligence*. Fondation Diderot, Fayard, Paris. 155-172.
- Rigg J.D. (1986). The chinese agricultural middleman in Thailand : efficient or exploitative ? *Singapore Journal of Tropical Geography*, 7, 68-79.
- Ring D.R. et Benedict J.H. (1993). Comparison of insect injury-cotton yield response functions and economic injury levels for *Helicoverpa zea* and *Heliothis virescens* (Lepidoptera : Noctuidae) in the Lower Gulf Coast of Texas. *Journal of Economic Entomology*, 86, 1228-1235.
- Rossing W.A.H. (1993). On Damage, Uncertainty and Risk in Supervised Control. Ph.D. Dissertation, Wageningen.
- Rousseau P., Lamballe P. et Pillot D. (1994). Limites de l'échelle individuelle pour raisonner la conduite d'une culture en situation de forte pression parasitaire. In : *Actes du Symposium International « Recherches-système en agriculture et développement rural »*. CIRAD-SAR, Montpellier. 489-494.
- Ruesink W.E. (1976). Status of the systems approach to pest management. *Annual Review of Entomology*, 21, 27-44.
- Savary S. (1991). Approches de la Pathologie des Cultures Tropicales. ORSTOM - Karthala, Paris.
- Savary S. (1993). Rice farmers' background, perceptions of pests, and pest management actions : a case study in the Philippines. *Netherland Journal of Plant Pathology*, 99, 181-190.
- Savary S., Elazegui F.A., Moody K., Litsinger J.A. et Teng P.S. (1994). Characterization of rice cropping practices and multiple pest systems in the Philippines. *Agricultural Systems*, 46, 385-408.
- Savary S. et Teng P.S. (1994). La protection des cultures dans une agriculture durable. *La Recherche*, 271, 1322-1328.
- Saporta G (1990) Probabilités, analyse des données et statistique. *Editions Technip*. Paris.
- Scott J. C. (1972). Patron-client politics and political change in Southeast Asia. *American Political Science Review*, 46, 91-113.
- Sebillotte M. (1978). Itinéraire technique et évolution de la pensée agronomique. *Compte Rendu de l'Académie d'Agriculture de France*, 64, 906-913.
- Sebillotte M. (1989). Fertilité et systèmes de production. INRA, Paris.
- Sebillotte M. (1990a). Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In : (L. Combe et D. Picard Ed.), *Les Systèmes de Culture*. INRA, Paris. 165-196.

- Sebillotte M. (1990b). Les processus de décision des agriculteurs. II. Conséquences pour les démarches d'aide à la décision. In : (J. Brossier, B. Vissac et J.L. Le Moigne Ed.), *Modélisation systémique et systèmes agraires*. INRA, Paris. 103-117.
- Sebillotte M. (1995). Démarche système et action - Excursions pluridisciplinaires. *Intervention au Symposium International « Recherches-système en agriculture et développement rural »*. CIRAD-SAR, 21 Nov. 1994, Montpellier.
- Sebillotte M. et Soler L.G. (1990). Les processus de décision des agriculteurs. I. Acquis et questions vives. In : (J. Brossier, B. Vissac et J.L. Le Moigne Ed.), *Modélisation systémique et systèmes agraires*. INRA, Paris. 93-101.
- Setboonsarng S., Wattanutchariya S. et Phutigorn B. (1991). The structure, conduct and performance of the seed industry in Thailand. *Research Monograph No. 5*, The Thailand Development Research Institute Foundation, Bangkok.
- Setboonsarng S. et Werakarnjanapongs P. (1988). Forestry and land use policy. Thailand Development Research Institute Foundation, Bangkok.
- Shiroma M. et Chunkao K. (1980). Some aspects of agricultural water balance in the central part of Thailand. *Bulletin of the College of Agriculture, University of the Ryukyus*, 27, 183-200.
- Siamwalla A. (1978). Farmers and middlemen: aspects of agricultural marketing in Thailand. *Economic Bulletin for Asia and the Pacific*, 29, 38-50.
- Siamwalla A., Setboonsarng S. et Werakarnjanapongs P. (1991). Changing comparative advantage in thai agriculture. OCDE, Paris.
- Sigrist J.C. (1992). Pratiques paysannes et utilisation des intrants en culture cotonnière au Nord-Cameroun. Mémoire de fin d'études, ISTOM, CIRAD-CA.
- Silcock T.H. (1969). Thailand. In : (R.T. Shand Ed.), *Agricultural development in Asia*. Australian National University Press, Canberra. 102-139.
- Silcock T.H. (1970). The economic development of thai agriculture. Australian National University Press, Canberra.
- Sinchaisri N. (1988). Pesticide resistance problems in Thailand. In : (P.S. Teng et K.L. Heong Ed.), *Pesticide Management and Integrated Pest Management in Southeast Asia*. Consortium for International Crop Protection, College Park, Maryland, USA. 279-289.
- Sinhaseni P., Phantumvanit D., Sivabut P., Foongvidya S. et Sachasinh R. (1993). Reducing pesticide hazards in formulating / repackaging plants in Thailand. Thailand Development Research Institute, Bangkok, Thailand.
- Slosser J.E. (1993). Influence of planting date and insecticide treatment on insect pest abundance and damage in dryland cotton. *Journal of Economic Entomology*, 86, 1213-1222.
- Sokal R.R. et Rohlf F.J. (1981). Path analysis. In : *Biometry*. W. H. Freeman and Company, New York. 642-656.
- Sri-Arunotai S. (1988). The organization and implementation of the surveillance and early warning systems in Thailand. In : (P.S. Teng et K.L. Heong Ed.), *Pesticide Management and Integrated Pest Management in Southeast Asia*. Consortium for International Crop Protection, College Park, Maryland, USA. 241-244.

- Sterling W. L., Dean A. D., Hartstack A. W., Shahed S. et Burudgunte R. (1993). TEXIM, The Texas cotton-insect model. Texas Agricultural Experiment Station, Department of Entomology, College Station, Texas.
- Stern V.M., Smith R.F., Van den Bosch R. et Hagen K.S. (1959). The integrated control concept. *Hilgardia*, 29, 81-101.
- Stone N.D. et Gutierrez A.P. (1986). Pink bollworm control in southwestern desert cotton. *Hilgardia*, 54, 1-56.
- Stuart T.H. (1993). Constraints in technology transfer : a users' perspective with a focus on IPM, Philippines. In : *Systems Approaches for Agricultural Development*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London. 473-484.
- Stynes B.A. (1980). Synoptic methodologies for crop loss assessment. In : (P.S. Teng et S.V. Krupa Ed.), *Assessment of Losses which Constrain Production and Crop Improvement in Agriculture and Forestry. Miscellaneous Publications* University of Minnesota Agricultural Experiment Station, Saint Paul. 166-175.
- Swangsri W. (1994). Factors affecting farmers' decision making process on cotton based cropping systems : a case study in Tambon Silathip, Amphoe Chaibadan, Changwat Lopburi. M.Sc. Thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- Tait J. et Napompeth B. (1987). Management of pests and pesticides. Farmers perceptions and practices. Westview Press, Boulder and London.
- Teng P.S. (1987). Crop loss assessment and pest management. American Phytopathological Society Press, Saint Paul, Minnesota.
- Teng P.S. (1991). IPM activities at the International Rice Research Institute. *Philippine Pest Management*, 1, 4-13.
- Teng P.S. et Heong K.L. (1988). Pesticide management and integrated pest management in Southeast Asia. Consortium for International Crop Protection, College Park, Maryland, U.S.A.
- Teng P.S. et Savary S. (1992). Implementing the systems approach in pest management. *Agricultural Systems*, 40, 237-264.
- Tidke P.M. et Sane P.V. (1962). Jassid resistance and morphology of cotton leaf. *The Indian Cotton Growing Review*, 16, 324-327.
- Torres C. Q. et Teng P. S. (1993). Path coefficient and regression analysis of the effects of leaf and panicle blast on tropical rice yield. *Crop Protection*. 12. 296-302.
- Trébuil G. (1993). Agriculture pionnière, révolution verte et dégradation de l'environnement en Thaïlande : Le cinquième dragon ne sera pas vert. *Revue Tiers Monde*, 134, 365-383.
- Trébuil G., Castella J.C., Chantharat B. et Thirasack S. (1994). Le cotonnier au Laos. *Agriculture et développement*, 1, 4-13.
- Trébuil G., Kaojarern S., Trimongkonkool P., Ngernprasertsri N. et Castella J.C. (1994). Dynamics of agrarian landscapes in Western Thailand. DORAS Project - Kasetsart University & INRDM Program - Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Trivithayacun B. (1980). Crop insurance in Thailand : a case study on cotton insurance in Pakchong, Nakhon Rachasima. M.Sc. Thesis, Thammasat University, Bangkok, Thailand.

- Tüttinghoff H. (1991). Pesticide use in plant protection. Descriptive analysis of decision-making among rice farmers in Central Thailand. Ph.D. Dissertation, University of Hohenheim, Germany.
- Turner N.C., Hearn A.B., Begg J.E. et Constable G.A. (1986). Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) : physiological and morphological responses to water defecits and their relationship to yield. *Field Crops Research*, **14**, 153-170.
- Ungar E.D., Wallach D. et Kletter E. (1987). Cotton response to bud and boll removal. *Agronomy Journal*, **79**, 491-497.
- Visetbhakdi N. (1989). Deforestation and reforestation in Thailand. *Bangkok Bank Monthly Review*, **30**, 241-251.
- Waibel H. (1990). Pesticide use and pesticide policy in Thailand. In : *Workshop on the Environmental and Health Impacts of Pesticide Use in Rice Culture, 28-30 March 1990*. IRRI, Los Baños, Philippines.
- Waibel H. et Meenakanit P. (1988). Economics of integrated pest control in rice in Southeast Asia. In : (P.S. Teng et K.L. Heong Ed.), *Pesticide Management and Integrated Pest Management in Southeast Asia*. Consortium for International Crop Protection, College Park, Maryland, USA. 103-111.
- Waibel H. et Setboonsarng S. (1992). Measuring resource degradation in vegetable-based farming systems in Thailand. In : *Proceedings of the Third Asian Farming Systems Symposium*. BMICH, Colombo, Sri Lanka.
- Wallach D. (1978). A simple model of cotton yield development. *Field Crops Research*, **1**, 269-281.
- Wang Y., Gutierrez A.P., Oster G. et Daxl R. (1977). A population model for plant growth and development : coupling cotton-herbivore interaction. *The Canadian Entomologist*, **109**, 1359-1374.
- Wangboonkong S. (1981). Chemical control of cotton pests in Thailand. *Tropical Pest Management*, **27**, 495-500.
- Wanjura D.F. et Barker G.L. (1988). Simulation analysis of declining cotton yields. *Agricultural Systems*, **27**, 81-98.
- Webb R.A. (1972). Use of the boundary line in the analysis of biological data. *Journal of Horticultural Science*, **47**, 309-319.
- Welch S. M. et Croft B. A. (1979). The design of biological monitoring systems for pest management. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.
- Whisler F.D., Acock B., Baker D.N., Fye R.E., Hodges H.F., Lambert J.R., Lemmon H.E., McKinion J.M. et Reddy V.R. (1986). Crop simulation models in agronomic systems. *Advances in Agronomy*, **40**, 141-208.
- Wiebers U.C. (1993). Integrated pest management and pesticide regulation in developing Asia. *World Bank Technical Paper No. 211*, The World Bank, Washington, D.C., U.S.A.
- Wiese M.V. (1982). Crop management by comprehensive appraisal of yield determining variables. *Annual Review of Phytopathology*, **20**, 419-432.
- Wilson A.G.L., Hughes R.D. et Gilbert N. (1972). The response of cotton to insect attack. *Bulletin of Entomological Research*, **61**, 405-414.

- Wilson L.T. et Gutierrez A.P. (1980). Fruit predation submodel : *Heliothis* larvae feeding upon cotton fruiting structures. *Hilgardia*, **48**, 24-36.
- Wilson L.T. et Waite G.K. (1982). Feeding pattern of australian *Heliothis* on cotton. *Environmental Entomology*, **11**, 297-300.
- Wongphanich M., Prasertsud P., Samathiwat A., Kongprasart S., Kochavej L., Bupachanok T. et Samarnsin S. (1985). Pesticide poisoning among agricultural workers. Supported by the International Development Research Center Canada. Chaopraya Press, Bangkok, Thailand.
- Yu Y. (1993). A model for a time-dependent economic threshold for chemical control of corn earworm on soybean. *Agricultural Systems*, **43**, 439-458.
- Zadoks J.C. (1985). On the conceptual basis of crop loss assessment : the threshold theory. *Annual Review of Phytopathology*, **23**, 455-473.
- Zadoks J.C. et Schein R.D. (1979). Epidemiology and plant disease management. Oxford University Press, New York.
- Zaidi I.H. (1987). Farmers' perceptions of pesticides as a cotton crop protection strategy. In : (J. Tait et B. Napompeth Ed.), *Management of Pest and Pesticides : Farmers' Perceptions and Practices*. Westview Studies Press, London. 66-69.

# TABLE DES MATIERES

---

	Page
<b>SOMMAIRE</b>	
<b>AVANT PROPOS</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCTION :</b>	<b>5</b>
LE CONTEXTE DE LA PRODUCTION COTONNIERE EN THAILANDE	
<b>2. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE :</b>	<b>17</b>
LA GESTION DES CONTRAINTES PHYTOSANITAIRES EN CULTURE COTONNIERE	
<b>2.1. Agro-physiologie du cotonnier</b>	<b>17</b>
2.1.1. La morphologie du cotonnier : combinaison des processus de croissance et de développement	18
2.1.1.1. <i>Morphogenèse</i>	18
2.1.1.2. <i>Photosynthèse et distribution des assimilats</i>	21
2.1.2. Les facteurs limitants de l'élaboration du rendement	21
2.1.2.1. <i>L'arrêt de la phase reproductrice</i>	22
2.1.2.2. <i>Rôle des facteurs du milieu sur le processus d'élaboration du rendement</i>	25
2.1.3. Conséquences des caractéristiques agro-physiologiques du cotonnier pour l'étude des interactions plante - ravageurs	27
<b>2.2. Le complexe parasitaire en culture cotonnière</b>	<b>29</b>
2.2.1. Les insectes piqueurs-suceurs	29
2.2.2. Les Chenilles	31
2.2.2.1. <i>Les chenilles phyllophages</i>	31
2.2.2.2. <i>Les chenilles carpophages</i>	32
2.2.3. Prise en compte de la composition du complexe parasitaire du cotonnier pour l'étude des interactions plante - ravageurs	33
<b>2.3. La gestion intégrée des contraintes phytosanitaires</b>	<b>35</b>
2.3.1. Notions de dégâts, dommages et pertes	35
2.3.2. Modélisation des contraintes phytosanitaires	38
2.3.2.1. <i>Les méthodes d'analyse quantitatives</i>	38
2.3.2.2. <i>Les méthodes d'analyse qualitatives</i>	40
2.3.2.3. <i>Evaluation des modèles et domaines de validité</i>	41

2.3.3.	Approche théorique de la gestion des contraintes phytosanitaires	41
2.3.3.1.	<i>L'aide à la décision</i>	41
2.3.3.2.	<i>La théorie des seuils d'intervention</i>	44
2.3.4.	La gestion de la contrainte phytosanitaire	48
2.3.4.1.	<i>Gestion de la contrainte phytosanitaire à la parcelle</i>	49
2.3.4.2.	<i>Gestion de la contrainte phytosanitaire à l'échelle de l'agroécosystème</i>	49
2.3.4.3.	<i>Les acteurs</i>	54
2.3.5.	Conclusion	58
<b>3.</b>	<b>PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE</b>	<b>59</b>
<b>3.1.</b>	<b>Les niveaux d'appréhension de la contrainte phytosanitaire</b>	<b>59</b>
3.1.1.	Les échelles d'analyse	59
3.1.2.	Le choix des zones d'étude	60
<b>3.2.</b>	<b>Les méthodes et critères d'observation</b>	<b>61</b>
3.2.1.	Complémentarité des enquêtes et expérimentations à l'échelle de la parcelle	61
3.2.1.1.	<i>L'expérimentation</i>	61
3.2.1.2.	<i>L'enquête : du suivi de parcelles paysannes à l'approche du processus décisionnel de l'agriculteur</i>	61
3.2.1.3.	<i>Diagnostic de l'agronome - diagnostic de l'agriculteur</i>	62
3.2.2.	Le dispositif de recherche	63
3.2.3.	L'approche régionale	65
<b>3.3.</b>	<b>Les hypothèses de travail</b>	<b>65</b>
3.3.1.	H1. L'évolution des modes de conduite de la culture cotonnière est à l'origine de son déclin	67
3.3.2.	H2. La surconsommation d'insecticides s'explique par leur relative inefficacité	67
3.3.3.	H3. Il existe des alternatives aux insecticides pour réduire le risque phytosanitaire dans les systèmes de culture paysans	67
3.3.4.	H4. Les techniques actuelles de protection de la culture reflètent des contraintes imposées par les fonctionnement des systèmes de production	68

<b>4.</b>	<b>APPROCHE REGIONALE</b>	<b>69</b>
	LA SURCONSOMMATION D'INSECTICIDES : ANALYSE HISTORIQUE ET DETERMINANTS SOCIO-ECONOMIQUES	
<b>4.1.</b>	<b>Introduction</b>	<b>69</b>
<b>4.2.</b>	<b>Méthode</b>	<b>70</b>
<b>4.3.</b>	<b>Présentation des deux zones d'étude</b>	<b>71</b>
4.3.1.	Approche géographique	71
4.3.2.	Approche historique	74
<b>4.4.</b>	<b>Transformations du milieu biophysique</b>	<b>80</b>
4.4.1.	Le processus de déforestation	80
4.4.2.	Evolution du régime pluviométrique	80
4.4.3.	Evolution historique du complexe parasitaire	82
<b>4.5.</b>	<b>Rôle des acteurs de la filière cotonnière dans la situation actuelle de crise</b>	<b>89</b>
4.5.1.	Les institutions publiques	89
4.5.1.1.	<i>Les infrastructures</i>	89
4.5.1.2.	<i>La recherche cotonnière</i>	89
4.5.1.3.	<i>La vulgarisation agricole</i>	90
4.5.1.4.	<i>Les structures de crédit</i>	92
4.5.1.5.	<i>Une politique fiscale favorable aux importations de fibre de coton sur le marché mondial</i>	93
4.5.2.	Le secteur privé	95
4.5.2.1.	<i>L'aval de la filière : usines d'égrenage et filatures</i>	95
4.5.2.2.	<i>Les intermédiaires locaux : les 'taokaes'</i>	98
4.5.2.3.	<i>Les firmes d'agro-fourriture</i>	99
4.5.3.	Attitude des agriculteurs face au risque phytosanitaire	103
4.5.3.1.	<i>Le processus d'adoption - rejet des innovations</i>	103
4.5.3.2.	<i>Le risque économique</i>	106
4.5.3.3.	<i>Le risque d'intoxication lié à l'utilisation d'insecticides</i>	109
<b>4.6.</b>	<b>Conclusion</b>	<b>113</b>
4.6.1.	L'émergence du problème phytosanitaire	113
4.6.2.	Les réponses des agriculteurs aux transformations du milieu écologique	114

<b>5.</b>	<b>APPROCHE EXPERIMENTALE A L'ECHELLE DE LA PARCELLE :</b>	<b>116</b>
	ANALYSE DE L'EFFICACITE DE LA PROTECTION PHYTOSANITAIRE CONTRE LES RAVAGEURS ET LEURS DEGATS	
<b>5.1.</b>	<b>Introduction</b>	<b>116</b>
<b>5.2.</b>	<b>Méthode</b>	<b>116</b>
5.2.1.	Le dispositif expérimental	118
5.2.2.	Les programmes de pulvérisation insecticide	118
5.2.3.	Les dates de semis	119
5.2.4.	Les données collectées	119
5.2.5.	Transformation des données	121
<b>5.3.</b>	<b>Le complexe parasitaire du cotonnier</b>	<b>122</b>
5.3.1.	Variabilité saisonnière des niveaux de pression parasitaire	122
5.3.2.	Variabilité des pertes de récolte selon les niveaux de protection phytosanitaire	124
5.3.3.	Le complexe parasitaire : un système en interaction	129
<b>5.4.</b>	<b>Analyse des interactions plante - ravageurs sur le processus d'élaboration du rendement</b>	<b>133</b>
5.4.1.	Méthode	133
5.4.2.	Variables expliquées : mise au point d'un indice de dommage	134
5.4.3.	Analyse de l'effet des contraintes parasitaires sur le dommage	136
5.4.4.	Discussion	147
5.4.5.	Conclusion	149
<b>5.5.</b>	<b>Efficacité de la protection insecticide sur l'entomofaune et les dégâts</b>	<b>150</b>
5.5.1.	Introduction	150
5.5.2.	Méthode d'analyse des données	152
5.5.2.1.	<i>Le codage des variables</i>	<i>152</i>
5.5.2.2.	<i>Etablissement de classes de profils de ravageurs</i>	<i>152</i>
5.5.2.3.	<i>Les tables de contingence et l'analyse des correspondances</i>	<i>153</i>

5.5.3	Résultats	154
5.5.3.1	<i>Les profils parasitaires</i>	154
5.5.3.2	<i>Les tableaux de contingence</i>	154
5.5.3.3	<i>L'analyse factorielle des correspondances multiples</i>	156
5.5.4	Discussion	160
<b>5.6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>162</b>
<b>6.</b>	<b>LES SYSTEMES DE CULTURE COTONNIERS</b>	<b>167</b>
<b>6.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>167</b>
<b>6.2</b>	<b>Méthode</b>	<b>167</b>
<b>6.3</b>	<b>Diversité des pratiques paysannes en culture cotonnière</b>	<b>168</b>
6.3.1	Le précédent cultural et la préparation du sol	168
6.3.2	Le choix variétal	172
6.3.2.1	<i>Les caractères de tolérance aux insectes ravageurs</i>	172
6.3.2.2	<i>Semences certifiées ou sélection massale par l'agriculteur</i>	174
6.3.3	Le semis	175
6.3.3.1	<i>Dates de semis et potentialités agronomiques de la culture</i>	176
6.3.3.2	<i>Dates de semis et sensibilité aux attaques de ravageurs</i>	179
6.3.4	La densité de peuplement	182
6.3.4.1	<i>Avantages liés aux fortes densités de peuplement</i>	182
6.3.4.2	<i>Raisons du choix d'une densité faible par les agriculteurs thaïs</i>	183
6.3.5	Le contrôle des adventices	184
6.3.5.1	<i>Le sarclage mécanisé</i>	186
6.3.5.2	<i>Le sarclage manuel</i>	186
6.3.5.3	<i>Les herbicides</i>	187
6.3.6	La fertilisation	188
6.3.6.1	<i>Engrais au sol et engrais foliaires</i>	188
6.3.6.2	<i>Fertilisation et protection</i>	189
6.3.7	La protection insecticide	191
6.3.7.1	<i>La gestion rationnelle des insecticides</i>	191
6.3.7.2	<i>Les facteurs responsables de la surconsommation d'insecticides</i>	193
6.3.8	La récolte	199
6.3.9	Conclusion	200

<b>6.4</b>	<b>Impact des stratégies de protection paysannes sur les dégâts d'insectes et le rendement</b>	<b>202</b>
6.4.1	Introduction	202
6.4.2	Méthode	202
	6.4.2.1 <i>La nature des données</i>	202
	6.4.2.2 <i>L'analyse des données</i>	204
6.4.3	Résultats	206
	6.4.3.1 <i>Le codage des variables</i>	208
	6.4.3.2 <i>Les profils de ravageurs</i>	208
	6.4.3.3 <i>Les combinaisons d'opérations culturales</i>	210
	6.4.3.4 <i>Les résultats de l'analyse multivariée</i>	211
6.4.4	Discussion	220
<b>6.5</b>	<b>Compréhension des systèmes de culture cotonniers par le fonctionnement des systèmes de production</b>	<b>223</b>
6.5.1	Introduction	223
6.5.2	Méthode	224
6.5.3	Typologie des systèmes de production cotonniers	225
6.5.4	Place de la culture cotonnière dans les systèmes de production	227
	6.5.4.1 <i>La gestion de la main d'oeuvre</i>	228
	6.5.4.2 <i>Le revenu</i>	229
	6.5.4.3 <i>Le risque économique</i>	231
6.5.5	Systèmes de production et gestion du risque phytosanitaire	233
	Les exploitations de type A	233
	Les exploitations de type B	233
	Les exploitations de type C	234
	Les exploitations de type D et E	235
<b>6.6</b>	<b>Conclusions</b>	<b>235</b>
	Le cadre de contrainte agroécologique	237
	Intégrer les contraintes agroécologiques dans le contexte socio-économique du système de production	237

<b>7. CONCLUSIONS</b>	<b>239</b>
<b>7.1 Acquis et perspectives scientifiques</b>	<b>239</b>
7.1.1 L'analyse régionale	239
7.1.2 La complémentarité des enquêtes et des expérimentations à l'échelle de la parcelle	240
7.1.3 Systèmes de culture - systèmes de production	242
7.1.4 Pour une approche spatiale au delà de la parcelle	242
<b>7.2 Propositions pour une gestion durable des systèmes de culture cotonniers</b>	<b>243</b>
7.2.1 Cahier des charges pour l'adoption des innovations par les agriculteurs	243
7.2.2 Propositions pour des programmes de protection durables	244
<b>7.3 Quelles approches privilégier pour introduire les pratiques de lutte intégrée ?</b>	<b>244</b>
7.3.1 Les réseaux traditionnels de communication	246
7.3.2 Vers une gestion collective de la contrainte phytosanitaire	246
7.3.2.1 <i>Retirer le pouvoir de décision aux agriculteurs</i>	247
7.3.2.2 <i>Sensibilisation des agriculteurs</i>	247
7.3.2.3 <i>Gestion collective par tous les acteurs de la filière</i>	247
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>249</b>
<b>TABLE DES MATIERES</b>	<b>267</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>274</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>277</b>
<b>ANNEXES</b>	
<b>SUMMARY</b>	
<b>RESUME</b>	

# LISTE DES TABLEAUX

---

Page

## Chapitre 1.

<b>Tableau 1.1.</b> Présentation des objectifs annuels de production cotonnière, assignés au cours des plans quinquennaux successifs des gouvernements thaïs, et les niveaux effectivement réalisés. ....	11
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## Chapitre 2.

<b>Tableau 2.1.</b> Développement de la résistance des populations d'insectes et acariens vis-à-vis des insecticides et acaricides. ....	53
<b>Tableau 2.2.</b> Caractéristiques de la filière cotonnière australienne qui ont contribué au succès de la gestion intégrée de la résistance des ravageurs aux insecticides. ....	53

## Chapitre 3.

<b>Tableau 3.1.</b> Les hypothèses de travail. ....	66
-----------------------------------------------------	----

## Chapitre 4.

<b>Tableau 4.1.</b> Histoire agraire du sous-district de Tha Sao, district de Saiyok, province de Kanjanaburi. ....	75
<b>Tableau 4.2.</b> Histoire agraire du sous-district de Silathip, district de Chaibadan, province de Lopburi. ....	76
<b>Tableau 4.3.</b> Résistance aux principaux groupes d'insecticides de souches d' <i>H. armigera</i> collectées dans les provinces de Nakhon Sawan, Lopburi et Kanjanaburi en Thaïlande. ....	88
<b>Tableau 4.4.</b> DL50 (dose létale moyenne pour 50% des individus de la population) des jassides <i>Amrasca biguttula</i> (Ishida) collectées à Lopburi, et Nakhon Sawan. ....	88
<b>Tableau 4.5.</b> Nombre de marques commerciales d'insecticides pour quelques matières actives, en Thaïlande et dans les pays voisins. ....	101
<b>Tableau 4.6.</b> Prix des insecticides en 1988, classés selon leur niveau de toxicité par l'Organisation mondiale de la santé. ....	101

## Chapitre 5.

<b>Tableau 5.1.</b> Nature des données collectées et fréquence des observations sur l'ensemble du dispositif expérimental.....	120
<b>Tableau 5.2.</b> Matrice de corrélation entre les aires sous la courbe d'infestation des jassides (J1, J2, J3) et des chenilles d' <i>H. armigera</i> (Ch1, Ch2, Ch3) aux trois phases de sensibilité du cotonnier sur 80 parcelles élémentaires du dispositif expérimental.....	132
<b>Tableau 5.3.</b> Valeur des coefficients de pistes entre variables: ravageurs, 'dégâts' et 'dommage', sur les individus du groupe A.....	141
<b>Tableau 5.4.</b> Valeur des coefficients de pistes entre variables 'ravageurs', 'dégâts' et 'dommage' sur l'ensemble des données.....	143
<b>Tableau 5.5.</b> Description des classes de profils de ravageurs (CL) issus de la classification ascendante hiérarchique.....	155
<b>Tableau 5.6.</b> Analyse des correspondances: qualité de la représentation des variables sur les deux premiers axes et contribution relative aux axes.....	157

## Chapitre 6.

<b>Tableau 6.1.</b> Rendements en coton-graine obtenus sur les essais maïs - coton pour différentes périodes relais entre les deux cultures (résultats expérimentaux 1993).....	169
<b>Tableau 6.2.</b> Comparaison des références techniques australiennes, des recommandations thaïes et des pratiques des agriculteurs en matière de protection insecticide sur cotonnier.....	194
<b>Tableau 6.3.</b> Transformation des données quantitatives en variables qualitatives: limite des classes.....	205
<b>Tableau 6.4.</b> Comparaison des bornes des classes entre enquêtes et expérimentations pour les variables qui témoignent des infestations de ravageurs.....	205
<b>Tableau 6.5.</b> Description des classes de profils de ravageurs (Clpb et Ckjn pour Lopburi et Kanjanaburi respectivement) issus de la classification ascendante hiérarchique.....	207
<b>Tableau 6.6.</b> Description des classes de pratiques culturales (Tlpb et Tkjn pour Lopburi et Kanjanaburi respectivement) issues de la classification ascendante hiérarchique.....	207

<b>Tableau 6.7.</b> Analyse des correspondances multiples : qualité de la représentation des variables sur les deux premiers axes et contribution relative aux axes : zone de Lopburi.....	212
<b>Tableau 6.8.</b> Analyse des correspondances multiples : qualité de la représentation des variables sur les deux premiers axes et contribution relative aux axes : zone de Kanjanaburi.....	214
<b>Tableau 6.9.</b> Principales caractéristiques des systèmes de production cotonniers des deux zones d'étude et leur fréquence relative.....	226

## Chapitre 7.

<b>Tableau 7.1.</b> Techniques de lutte intégrée testées par le projet DORAS en Thaïlande et leurs chances d'adoption par les agriculteurs, dans le contexte actuel de production cotonnière.....	245
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

# LISTE DES FIGURES

Page

## Chapitre 1.

- Figure 1.1.** Consommation de fibre de coton par l'industrie textile, et niveau de couverture des besoins par la production nationale en Thaïlande. .... 7
- Figure 1.2.** Evolution des surfaces cotonnières et des rendements en coton-graine à l'échelle nationale sur la période 1950-1993. .... 9
- Figure 1.3.** Evolution des coûts de production du coton-graine en Thaïlande: distribué selon les postes de dépenses. .... 12
- Figure 1.4.** Evolution du prix du coton-graine payé aux producteurs (en Baht constant 1991). .... 12
- Figure 1.5.** Evolution de l'utilisation agricole d'insecticides dans l'agriculture, et surfaces cotonnières en Thaïlande (1950-1989). .... 14
- Figure 1.6.** Phases historiques des modes de gestion de la contrainte phytosanitaire sur cotonnier et évolution des surfaces cultivées en Thaïlande. .... 14

## Chapitre 2.

- Figure 2.1.** Morphologie du cotonnier. .... 20
- Figure 2.2.** Dates de floraison sur cotonnier selon la position des sites fructifères. .... 20
- Figure 2.3.** Progression de l'apparition des bourgeons floraux et de la floraison (en position P1 sur les branches fructifères) le long de la tige principale, pour la variété Sri Samrong 60 cultivée en Thaïlande. .... 23
- Figure 2.4.** Le nombre de capsules récoltées: combinaison des processus de formation et de rétention d'organes fructifères. .... 23
- Figure 2.5.** Structure du modèle dynamique SIRATAC de fructification du cotonnier. .... 24
- Figure 2.6.** Diagramme relationnel entre les concepts de dégâts, dommage et perte. .... 37

- Figure 2.7.** Niveau hebdomadaire de résistance aux pyréthrinoïdes des populations d'*H. armigera* en Australie, pour les sept saisons depuis l'introduction d'une stratégie de 'gestion de la résistance' ..... 52
- Figure 2.8.** Croissance des productions cotonnières thaïes et australiennes, surfaces cultivées et importations de 1980 à 1991 ..... 52

### Chapitre 3.

- Figure 3.1.** Présentation schématique du dispositif de recherche ..... 64

### Chapitre 4.

- Figure 4.1.** Situation des provinces de Kanjanaburi (KJN) et Lopburi (LPB) dans les zones de piémont à la périphérie de la Plaine Centrale de Thaïlande ..... 72
- Figure 4.2.** Comparaison des analyses fréquentielles du climat des deux sites de recherche : Kanjanaburi et Lopburi ..... 73
- Figure 4.3.** Evolution de la part du territoire national couverte de forêts entre 1950 et 1990 ..... 81
- Figure 4.4.** Déforestation et expansion des surfaces agricoles au cours des trois dernières décennies dans le nord de la province de Kanjanaburi ..... 81
- Figure 4.5.** Evolution de la pluviométrie annuelle sur le site de Lopburi (1969-1993) ..... 83
- Figure 4.6.** Distribution des fréquences d'observation d'une pluviométrie supérieure à 10 mm par décade ..... 83
- Figure 4.7.** Distribution des superficies des principales cultures des deux zones d'étude : districts de Saiyok (province de Kanjanaburi) et district de Chaibadan (province de Lopburi) ..... 86
- Figure 4.8.** Calendriers culturels des principales cultures pluviales pratiquées dans les deux zones d'étude ..... 86
- Figure 4.9.** Evolution de l'efficacité des pyréthrinoïdes de synthèse pour le contrôle d'*H. armigera* en culture cotonnière, Thaïlande, 1976-1985 ..... 86
- Figure 4.10.** Schéma relationnel entre les différents acteurs de la filière cotonnière en Thaïlande ..... 104

<b>Figure 4.11.</b> Répartition régionale des zones de production cotonnière. La moyenne du pourcentage de production de chaque province a été réalisée sur trois années successives à trois périodes (a) 1973-1975, (b) 1981-1983 et (c) 1989-1991. ....	107
<b>Figure 4.12.</b> Evolution des surfaces cultivées des principales productions végétales pratiquées dans la province de Lopburi (en zones pluviales).....	108
<b>Figure 4.13.</b> Evolution des cas d'intoxications accidentelles par les insecticides dans les provinces de Kanjanaburi et Lopburi ainsi que pour l'ensemble de la Thaïlande (1980-1990).....	111

## Chapitre 5.

<b>Figure 5.1.</b> Carte du dispositif régional d'expérimentation phytosanitaire (1991-1993).....	117
<b>Figure 5.2.</b> Profil parasitaire saisonnier sur cotonnier, site expérimental en milieu paysan de Lopburi, 1992. ....	123
<b>Figure 5.3.</b> Analyse fréquentielle des infestations des chenilles d' <i>H. armigera</i> au cours de la saison culturale.....	125
<b>Figure 5.4.</b> Courbes théoriques représentant des dynamiques de population de chenilles <i>H. armigera</i> . ....	125
<b>Figure 5.5.</b> Fréquence cumulée de dommage d'origine parasitaire en parcelles expérimentales. ....	127
<b>Figure 5.6.</b> Fréquence cumulée des aires sous la courbe d'infestation de jassides selon le degré de protection insecticide sur le réseau expérimental.....	128
<b>Figure 5.7.</b> Fréquence cumulée des aires sous la courbe d'infestation d' <i>H. armigera</i> selon le degré de protection insecticide sur le réseau expérimental.....	128
<b>Figure 5.8.</b> Relation entre les infestations de pucerons et les populations de coccinelles sur les parcelles non traitées du réseau expérimental en 1991. ....	130
<b>Figure 5.9.</b> Relation entre les infestations de jassides et les populations d'araignées sur les parcelles non traitées du réseau expérimental (sites de Kanjanaburi et Farm Suwan en 1991 et 1993).....	130
<b>Figure 5.10.</b> Relation entre les populations de jassides et de thrips sur le réseau expérimental.....	132

<b>Figure 5.11.</b> Relation entre les populations de jassides et d'aleurodes sur le réseau expérimental. ....	132
<b>Figure 5.12.</b> Variations du rendement en coton-graine (Rdt) en fonction du nombre de capsules récoltées par m <sup>2</sup> (Ncr) sur 80 parcelles élémentaires. ....	135
<b>Figure 5.13.</b> Variations du nombre total d'organes fructifères (bourgeons floraux et capsules) abscissés par m <sup>2</sup> (Nab) en fonction du nombre total de sites fructifères formés par m <sup>2</sup> (Nsf). ....	135
<b>Figure 5.14.</b> Variations du nombre de capsules récoltées par m <sup>2</sup> (Ncr) en fonction du nombre total de sites fructifères formés par m <sup>2</sup> (Nsf). ....	137
<b>Figure 5.15.</b> Variations du nombre total d'organes fructifères (bourgeons floraux + capsules) abscissés par des chenilles carpophages par m <sup>2</sup> (Nt) en fonction du nombre total de sites fructifères formés par m <sup>2</sup> (Nsf). ....	139
<b>Figure 5.16.</b> Schéma relationnel entre variables descriptives des interactions cotonnier-ravageurs selon la technique des coefficients de pistes sur les individus du groupe A. ....	141
<b>Figure 5.17.</b> Schéma relationnel entre variables descriptives des interactions cotonnier-ravageurs selon la technique des coefficients de pistes, sur l'ensemble de la base de données. ....	143
<b>Figure 5.18.</b> Représentation dynamique de la 'réponse' de la plante aux dégâts de ravageurs. ....	145
<b>Figure 5.19.</b> Approche des interactions 'pratiques culturales - profils parasitaires' sur l'élaboration du rendement du cotonnier. ....	151
<b>Figure 5.20.</b> Etapes successives du processus d'analyse multivarié sur les relations entre pratiques culturales, dégâts de ravageurs et élaboration du rendement. ....	155
<b>Figure 5.21.</b> Représentation graphique dans le plan 1-2 des résultats de l'analyse factorielle des correspondances multiples entre les trois groupes de variables : pratiques culturales (P, DS), profils de ravageurs (CL) et rendement (RDT, NCR, DOM). ....	159

## Chapitre 6.

- Figure 6.1.** Comparaison du niveau d'infestation par les jassides selon la pilosité des feuilles: variété à feuilles glabres : Sri Samrong 2, et à feuilles pileuses : Kham Khao 1. .... 173
- Figure 6.2.** Comparaison de l'oviposition d'*Helicoverpa armigera* selon la pilosité des feuilles: variété à feuilles glabres : Sri Samrong 2, et à feuilles pileuses : Kham Khao 1..... 173
- Figure 6.3.** Représentation schématique des conséquences du choix de la date de semis, en termes de risques climatiques..... 178
- Figure 6.4.** Rôle de la date de semis sur le risque phytosanitaire dans le cas (a) des jassides (*Amrasca biguttula*) et celui (b) des chenilles (*Helicoverpa armigera*). .... 180
- Figure 6.5.** Distribution de la fructification du cotonnier sur les branches fructifères (à droite) et végétatives (à gauche), selon la position sur la tige principale : (a) Kanjanaburi et (b) Lopburi..... 185
- Figure 6.6.** Rendement, obtenu sur les parcelles enquêtées, en fonction du niveau moyen d'enherbement au cours du cycle cultural. .... 186
- Figure 6.7.** Résultats des essais croisés 'fertilisation - protection' réalisés en 1991 par le projet DORAS dans la zone de Kanjanaburi..... 190
- Figure 6.8.** Courbes d'iso-rendement : interaction de la protection et de la fertilisation du cotonnier (CRETENET et VAISSAYRE, 1986). .... 190
- Figure 6.9.** Volume d'eau pulvérisé lors des traitements insecticides en fonction de l'âge des cotonniers. .... 195
- Figure 6.10.** Prix de vente du coton-graine dans les provinces de Lopburi et Kanjanaburi selon la date de la transaction..... 199
- Figure 6.11.** Lopburi : représentation graphique dans le plan 1-2 des résultats de l'analyse factorielle des correspondances multiples entre les trois groupes de variable: combinaison d'opérations culturales (Tlpb), ennemis des cultures (Clpb et Adv) et rendement (RDT, NCR, DOM). .... 215
- Figure 6.12.** Kanjanaburi : représentation graphique dans le plan 1-2 des résultats de l'analyse factorielle des correspondances multiples entre les trois groupes de variable : combinaison d'opérations culturales (Tkjn), ennemis des cultures (Ckjn et Adv) et rendement (RDT, NCR, DOM). .... 216

<b>Figure 6.13.</b> Complémentarité des périodes de récolte des principales cultures dans la zone de Kanjanaburi. ....	230
<b>Figure 6.14.</b> Comparaison des cultures les plus pratiquées en zones d'agriculture pluviale en termes de productivité et de besoins en travail.....	230
<b>Figure 6.15.</b> Comparaison des cultures les plus pratiquées en zones d'agriculture pluviale en termes de risque économique et de besoins en travail.....	232
<b>Figure 6.16.</b> Analyse des stratégies de protection phytosanitaire en culture cotonnière, à l'interface entre les contraintes bioclimatiques, parasitaires et socio-économiques.....	236

**A**

**nnexes**

# **LISTE DES ANNEXES**

---

## **Chapitre 1.**

**Annexe 1.1.** Statistiques officielles concernant la culture cotonnière en Thaïlande de 1957 à 1993.

## **Chapitre 2.**

**Annexe 2.1.** Liste des principaux ravageurs du cotonnier en Thaïlande.

**Annexe 2.2.** Principaux groupes d'insecticides chimiques employés pour la protection de la culture cotonnière : atouts et points faibles.

## **Chapitre 4.**

**Annexe 4.1.** Principales caractéristiques chimiques et granulométriques des sols sur les 4 sites expérimentaux.

**Annexe 4.2.** Liste des variétés de cotonnier cultivées en Thaïlande.

**Annexe 4.3.** Evolution du complexe de l'entomofaune déprédatrice du cotonnier en Thaïlande selon les sources bibliographiques.

## **Chapitre 5.**

**Annexe 5.1 (a).** Principales caractéristiques du dispositif régional d'expérimentation phytosanitaire en culture cotonnière.

**Annexe 5.1 (b).** Nombre de pulvérisations insecticides sur les essais phytosanitaires.

**Annexe 5.2.** Analyse fréquentielle des infestations de jassides (*A. biguttula*) au cours de la saison culturale

**Annexe 5.3. (a)** Histogramme de fréquence des rendements obtenus sur 116 parcelles élémentaires du réseau expérimental.

**Annexe 5.3. (b)** Histogramme de fréquence du dommage d'origine parasitaire exprimé en terme d'écart relatif au rendement des parcelles PP.

**Annexe 5.4.** Probabilité cumulée de présence d'insectes auxiliaires (prédateurs des principaux ravageurs de la culture) selon le degré de protection insecticide sur le réseau expérimental.

**Annexe 5.5.** Liste des variables intégrées au modèle d'interaction 'cotonnier - ravageurs' par la méthode des coefficients de piste.

**Annexe 5.6.** Matrice des corrélations entre variables caractéristiques des 'infestations d'insectes ravageurs', 'dégâts' et 'dommage' sur le dispositif expérimental.

**Annexe 5.7.** Variables utilisées pour l'analyse des relations entre: pratiques culturales - profils parasitaires - rendement

**Annexe 5.8.** Distribution des fréquences et constitution des classes pour les variables (a) Ch1: infestations de chenilles en début de cycle et (b) DOM: dommage d'origine parasitaire.

**Annexe 5.9.** Représentation des classes par un dendrogramme à l'issue de la classification ascendante hiérarchique. Etablissement de 4 profils de ravageurs en coupant le dendrogramme à un niveau d'agrégation arbitraire.

**Annexe 5.10.** Transformation des données quantitatives en variables qualitatives: limite des classes.

**Annexe 5.11.** Tableau de contingence entre variables descriptives du système cotonnier - profils de ravageurs.

## Chapitre 6.

**Annexe 6.1.** Pluviométrie décadaire sur les sites de recherche de Kanjanaburi et Lopburi de 1991 à 1993.

**Annexe 6.2.** Comparaison des modalités de conduite des parcelles cotonnières par les agriculteurs de Lopburi (LPB) et Kanjanaburi (KJN). Les résultats issus des enquêtes 'systèmes de culture' sont exprimés en terme de fréquence cumulée.

**Annexe 6.3.** Dendrogrammes obtenus à l'issue des classification ascendantes hiérarchiques.

- a) profils de ravageurs de la province de Lopburi (Clpb1 à Clpb4)
- b) profils de ravageurs de la province de Kanjanaburi (Ckjn1 à Ckjn3)
- c) typologie des systèmes de culture à Lopburi (Tlpb1 à Tlpb3)
- d) typologie des systèmes de culture à Kanjanaburi (Tkjn1 à Tkjn3).

**Annexe 6.4.** Lopburi : tableaux de contingence entre variables descriptives des combinaison d'opérations culturales, ennemis des cultures et rendement.

**Annexe 6.5.** Kanjanaburi : tableaux de contingence entre variables descriptives des combinaison d'opérations culturales, ennemis des cultures et rendement.

**Annexe 6.6.** Typologie des systèmes de production agricoles, réalisée en 1993 dans le sous-district de Silathip, district de Chaibadan, province de Lopburi.

**Annexe 6.7.** Typologie des systèmes de production agricoles, réalisée en 1991 dans le sous-district de Tha Sao, district de Saiyok, province de Kanjanaburi.

## **Chapitre 7.**

**Annexe 7.1.** Propositions pour un itinéraire technique mécanisé en production cotonnière.

**Annexe 1.1.** Statistiques officielles concernant la culture cotonnière en Thaïlande de 1957 à 1993.

Année	Surface cultivée ha	Rendement coton-graine kg/ha	Production coton-graine t *	Production fibre (t) **	Consom. fibre (t)	Import fibre (t)	Export fibre (t)	Couverture besoins %
1957	41920	887	36500	10765	10795	60	0	99,7
1958	41280	856	34700	12165	12859	705	11	94,6
1959	48160	781	37400	11566	13527	1981	20	85,5
1960	55520	831	45500	12465	17246	4887	106	72,3
1961	57280	725	38300	15165	23554	8681	292	64,4
1962	59360	694	41300	12765	20588	8144	321	62,0
1963	72960	669	48600	13765	22627	9476	614	60,8
1964	67040	731	49100	16198	26411	10472	260	61,3
1965	75360	794	59800	16365	40912	24714	167	40,0
1966	83686	1062	88811	19931	43839	24392	484	45,5
1967	112416	719	80740	29601	53942	24715	374	54,9
1968	133093	881	117100	26911	45690	22573	3794	58,9
1969	93249	469	43743	39029	49322	17183	6890	79,1
1970	30857	869	26823	14580	51427	40265	3418	28,4
1971	46125	881	40505	8940	55954	48011	997	16,0
1972	61446	806	49440	13500	58721	48530	3309	23,0
1973	28930	981	28402	16478	95511	84907	5874	17,3
1974	51667	1094	56377	9466	69115	62329	2680	13,7
1975	30139	956	28747	18790	94061	77002	1731	20,0
1976	24606	1087	26837	9581	89669	82715	2627	10,7
1977	84445	1075	90760	8945	97934	91494	2505	9,1
1978	68562	1087	74418	30250	99597	70516	1169	30,4
1979	120068	1187	142709	24804	117385	92863	282	21,1
1980	151785	1269	192570	47565	115334	75562	7793	41,2
1981	154672	1156	175733	64184	135890	77086	5380	47,2
1982	114371	1137	122008	58572	102956	57490	13106	56,9
1983	102016	1194	119225	40665	137719	109729	12675	29,5
1984	72136	1137	79425	39738	200467	171545	10816	19,8
1985	83091	1256	101511	26472	149764	134555	11263	17,7
1986	50322	1175	57261	33834	226820	199944	6958	14,9
1987	65963	1169	74321	19085	248400	258030	10818	7,7
1988	70742	1500	105527	24771	263200	219103	11409	9,4
1989	63761	1363	85829	35172	265500	266311	8859	13,2
1990	73789	1363	96699	28607	303500	302163	5050	9,4
1991	99333	1312	128674	32230	382800	377278	9264	8,4
1992	77230	1387	99176	42887	417600	450225	8923	10,3
1993	65000	1375	52800	33055	376300	275637	9000	8,8

\* : La production en coton-graine est différente du produit de la surface cultivée par le rendement; elle est calculée par la *Division of agricultural economics* en fonction d'une estimation de la surface effectivement récoltée du *Department of agricultural extension*.

\*\* : La récolte d'une année donnée n'atteignant la filature que l'année suivante, la production cotonnière de l'année précédente a été utilisée. La production de fibre est calculée en prenant 33.33% de la production de coton-graine

Source: *Division of Agricultural Economics, Ministère de l'agriculture et des coopératives*, Thaïlande. *Service des douanes* pour les données d'import-export.

**Annexe 2.1.** Liste des principaux ravageurs du cotonnier en Thaïlande.

Nom scientifique	Famille	Nom en anglais / Type de dégâts
<i>Acrocercops</i> sp.	Gracilariidae	Leaf mining caterpillar
<i>Archips micaceana</i>	Tortricidae	Leaf folder
<i>Amorphoidea lata</i>	Curculionidae	Flower eating weevil
<i>Amrasca biguttula biguttula</i>	Cicadellidae	Cotton leafhopper
<i>Anomis flava</i>	Noctuidae	Cotton semi-looper
<i>Aphis gossypii</i>	Aphididae	Cotton aphid
<i>Bemisia tabaci</i>	Aleyrodidae	Tobacco whitefly
<i>Cyrtacanthacris tatarica</i>	Acrididae	Leaf eating grasshopper
<i>Dysdercus cingulatus</i>	Pyrrhocoridae	Boll sucking bug, Cotton stainer
<i>Earias fabia</i>	Noctuidae	Boll boring caterpillar, Spiny bollworm
<i>Ferrisia virgata</i>	Pseudococcidae	Common mealybug
<i>Helicoverpa armigera</i>	Noctuidae	Boll boring caterpillar, Cotton bollworm
<i>Hypomeces squamosus</i>	Curculionidae	Green weevil
<i>Monolepta signata</i>	Chrysomelidae	Leaf eating beetle
<i>Nezara viridula</i>	Pentatomidae	Green stink bug
<i>Orgyia horsfieldi</i>	Lymantriidae	Leaf eating caterpillar
<i>Ostrinia furnacalis</i>	Pyralidae	Corn stem borer
<i>Oxycarenus laetus</i>	Lygaeidae	Plant sucking bug, Cotton seed bug
<i>Patanga succincta</i>	Acrididae	Bombay locust
<i>Pectinophora gossypiella</i>	Gelechiidae	Pink bollworm
<i>Pempherulus affinis</i>	Curculionidae	Cotton stem borer
<i>Podagrica</i> sp.	Chrysomelidae	Flea beetle
<i>Spodoptera litura</i>	Noctuidae	Cotton leafworm, common leaf cutworm
<i>Syllepte derogata</i>	Pyralidae	Cotton leaf-roller
<i>Thrips palmi</i>	Thripidae	Cotton leaf thrips
<i>Zeuzera coffeae</i>	Cossidae	Coffee stem borer

Source : ANONYME (1991). *List of insect of economic plants in Thailand*. Entomology and Zoology Division, Department of agriculture, Thailand.

## Annexe 2.2. Principaux groupes d'insecticides chimiques employés pour la protection de la culture cotonnière : atouts et points faibles.

L'homologation des insecticides dépend de leur efficacité sur les ravageurs visés mais aussi de leurs « effets pervers » sur l'environnement, notamment la toxicité à l'égard des vertébrés et des insectes auxiliaires, leur rémanence, etc.. Plusieurs groupes de produits sont généralement distingués en fonction de leur nature chimique et de leur mode d'action.

Les premiers insecticides à avoir été utilisés dans l'agriculture sont de nature inorganique et ont une action cumulative et très persistante. Parmi eux on note des produits à base d'**arsenic** ou de **mercure**, qui ont été interdits en raison de leur toxicité élevée pour les mammifères.

Les **organochlorés** sont des insecticides organiques de synthèse. Le DDT, a été créé il y a plus de cent ans, puis oublié. Vers 1940 ces propriétés insecticides ont été reconnues et la production de ce groupe d'insecticide a été à l'origine de l'industrie des pesticides. Moyen de lutte, dans un premier temps, contre les vecteurs de maladies telles que le paludisme, son usage s'est rapidement étendu au domaine agricole. En raison de son faible coût, il est sûrement le produit le plus économique jamais commercialisé. Ce groupe comprend d'autres insecticides célèbres en production cotonnière tels que le toxaphène, endrine, etc. utilisés pendant de longues années en association avec le DDT mais interdits aujourd'hui. En effet, leur forte rémanence et leur faible solubilité dans l'eau a entraîné une concentration progressive de ces produits dans les sols et tout au long de la chaîne alimentaire. La toxicité de ces produits est relativement faible à chaque exposition, mais c'est l'accumulation progressive dans les tissus gras du corps qui est à l'origine du risque. Cependant, l'endosulfan est encore largement utilisé de façon à alterner les groupes de matières actives entre traitements dans le cadre de la gestion de la résistance des insectes aux produits phytosanitaires.

Les **organophosphorés** ont deux caractéristiques principales: ils sont généralement très toxiques pour l'homme et les animaux vertébrés mais ne sont pas rémanents. La plupart d'entre eux ont une activité de courte durée, point positif pour diminuer les effets résiduels sur les produits agricoles, mais problème pour assurer un contrôle des ravageurs sur un intervalle de temps suffisant. C'est une des raisons pour lesquelles la fréquence des applications insecticides a augmenté avec leur apparition. Ces produits sont caractérisés par leur activité systémique sur la plante. Lorsque des tissus végétaux, où la matière active a été transmise, sont ingérés, celle-ci inhibe l'action de certaines enzymes (cholinestérases) et perturbe le système nerveux de l'insecte. Pour l'homme, les effets d'une intoxication sont très brutaux, mais dès que l'exposition au produit cesse, les symptômes disparaissent rapidement. Ces insecticides ne sont pas stockés dans les lipides du corps mais éliminés avec l'urine. Cependant, des expositions répétées à faibles intervalles peuvent réduire le niveau d'acetyl cholinestérase, sans symptôme apparent, et conduire à des accidents.

Les **carbamates** regroupent des insecticides de nature chimique différente des précédents. Ils sont caractérisés par une faible toxicité pour les mammifères et une faible rémanence dans les sols; leur mode d'action est semblable à celui des organophosphorés. Cependant, des insecticides persistants et systémiques tels que l'aldicarbe et le carbofuran sont très toxiques et justifient un mode de présentation différent des autres pour éviter les accidents.

Dernier né des insecticides chimiques, le groupe des **pyréthrinoïdes** a fait son apparition dans les années soixante-dix. Il s'agit d'une copie d'un insecticide naturel: le pyréthrum, extrait des fleurs de chrysanthèmes. Ces matières actives ont un effet brutal sur les insectes (notamment les larves de lépidoptères) par simple contact. Ils affectent la transmission du message nerveux au niveau des axones des neurones. Par contre, leur toxicité pour les mammifères est minimale, de même que leurs effets résiduels. Cependant, la structure chimique de ces matières actives, plus simple que celle du pyréthrum, facilite le développement de résistances des insectes (ce phénomène n'est pas observé sur la molécule biologique).

D'autres « insecticides naturels » sont, ou ont été, utilisés de façon commerciale. Parmi eux on note la **nicotine**, extraite des feuilles de tabac (*Nicotiana tabacum*) très efficace contre les pucerons par exemple. Mais elle est aussi un poison neuro-musculaire pour l'homme et les animaux et son usage est interdit. Par contre, les extraits d'un arbre, le **neem** (*Azadirachta indica*), ont des effets insecticides, répulsifs, et inhibiteurs de croissance sur différents groupes d'insectes. Ce produit est sans danger pour l'homme et les animaux et préserve l'entomofaune auxiliaire. Une production de masse a débuté ces dernières années dans plusieurs pays d'Asie.

**Annexe 4.1 :** Principales caractéristiques chimiques et granulométriques des sols sur les 4 sites expérimentaux.

Paramètre	Unité	Farm Suwan	Kanjanaburi	Lopburi
C organique	%	2,05	1,64	1,27
P total	mg P/kg	141	283	226
K échangeable	mg K/kg	210	88	107
Ca échang.	mg Ca/kg	1047	3985	921
Mg échang.	mg Mg/kg	130	447	147
pH	-	6,6	6,6	5,1
Texture	-	Argileux	Argileux	Limono-argileux
Argile	%	81	77,6	30,3
Limon	%	6	15,8	53,8
Sable	%	13	6,5	15,8

**Annexe 4.2.** Liste des variétés de cotonnier cultivées en Thaïlande

Année d'introduction	Variété	Origine	Avantages	Inconvénients
Avant 1950	variétés traditionnelles	<i>G. arboreum</i> originaires d'Asie	très rustiques, peu attaquées par les insectes	faible productivité, fibre très courte
1950	SK13, SK14, SK32	resélection de variétés de <i>G. hirsutum</i> cultivées au Cambodge	pilosité des feuilles: facteur de tolérance aux attaques des insectes piqueurs-suceurs	sensibles au flétrissement bactérien
1964	Stoneville 2B	originaire des Etats Unis	productivité élevée, durée de cycle plus courte	variété non pileuse très attaquée par les jassides
1966	Reba B50	introduit d'Afrique par des chercheurs de l'IRCT (France)	résistance au flétrissement bactérien pilosité foliaire	qualité de fibre inférieure aux cultivars américains
1972	Deltapine Smooth Leaf	originaire des Etats Unis	forte productivité	sensible à la maladie bleue (gros dégâts en 1969 dans la province de Sukhothai) non pileuse: utilisation systématique d'insecticides contre les jassides
1973	Reba BTK 12	introduit d'Afrique	mêmes caractéristiques que Reba B50 mais meilleure productivité	plus tardives que les variétés américaines
1978	Takfa 1	croisement de Reba BTK 12 et de Stoneville 213	nombreuses capsules (limite les dégâts de chenilles)	sensible à la maladie bleue
1980	Sri Samrong 2	resélection de G115-7, variété HAR (croisement de <i>G. hirsutum</i> , <i>G. raimondii</i> et <i>G. arboreum</i> ) originaire de Côte d'Ivoire	résistance à la maladie bleue	non pileuse
1982	Sri Samrong 3	resélection de Deltapine Smooth Leaf	résistance à la maladie bleue	très attaquée par les piqueurs-suceurs
1988	Sri Samrong 60	resélection d'un croisement de A200 et Carolina Queen	moins sensible à l'abscission physiologique que Sri Samrong 2	non pileuse

**Annexe 4.3.** Evolution du complexe de l'entomofaune déprédatrice du cotonnier en Thaïlande selon les sources bibliographiques

NOM DE L'INSECTE RAVAGEUR	RELEVE 1965	RELEVE 1936
<i>Amrasca biguttula</i> Ishida Cotton jassid, cotton leafhopper	Oui (majeur)	Non
<i>Aphis gossypii</i> Glover Cotton aphid	Oui (majeur)	Oui
<i>Ayyaris chaetophora</i> Karny Leaf sucking thrips	Oui (majeur)	Non
<i>Bemisia tabaci</i> Gennadius Whitefly	Non	Non
<i>Cosmophila flava</i> Fabr. Semi-looper caterpillar	Oui	Oui
<i>Dysdercus cingulatus</i> Fabr. Cotton stainer bug	Oui (majeur)	Oui
<i>Earias fabia</i> Stoll Spiny bollworm	Oui (majeur)	Oui
<i>Helicoverpa armigera</i> Hubner Cotton bollworm, American bollworm	Oui (mineur)	Non
<i>Pectinophora gossypiella</i> Saund. Pink bollworm	Oui (majeur)	Oui
<i>Pempherulus affinis</i> Faust Stem boring weevil	Oui (majeur)	Oui
<i>Oxycarenus laetus</i> Kirby Dusky cotton bug, cotton seed bug	Oui (majeur)	Oui
<i>Sylepta derogata</i> Fabricius Cotton leafroller	Oui (majeur)	Oui
<i>Spodoptera littoralis</i> Fabr. Cotton leafworm	Oui	Non

Sources :

- BELLER S. et BHENCHITR, P. (1936). *Preliminary list of insect pests and their host plants in Siam*. Section of entomology, Department of agriculture and fisheries, Bangkok, Siam.
- PHOLBOON, P. (1965) *A host list of the insects of Thailand*. Department of agriculture. Royal thai government.
- ANONYME (1984) *Cotton*. Monographie technique n°9, Département de l'agriculture, Ministère de l'agriculture et des coopératives, Bangkok. (en Thai)
- ANONYME (1991) *List of insect, mite and other zoological pests of economic plants in Thailand*. Entomology and Zoology Division, Department of agriculture, Thailand.

**Annexe 5.1 (a).** Principales caractéristiques du dispositif régional d'expérimentation phytosanitaire en culture cotonnière.

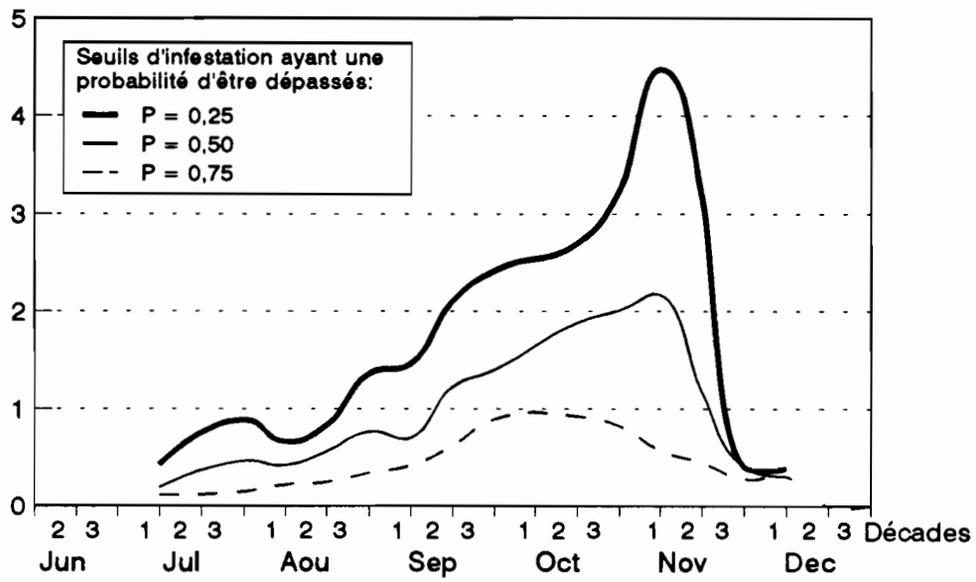
Année	Province	Site expérimental	Variété	Date semis	Fertilisation N-P-K	Nombre total de parcelles (116)	Jeu de données complet: 80 parcelles
1991	Kanjana-buri	Bongti	SR2	16/07	91-91-91	6	
		Sai Yok	SR2	18/07	95-70-70	6	6
		Thong Pha Phum	SR60	17/07	88-88-88	6	
	Nakhon Rachasima	Suwan Farm	SR2	12/07	96-50-50	18	6
1992	Lopburi		SR60	01/08	57-28-28	6	6
1993	Kanjana-buri	Sai Yok	SR60	11/06	60-37-37	8	6
				07/07	60-37-37	8	6
				10/08	60-37-37	8	6
		Thong Pha Phum	SR60	29/07	60-37-37	8	4
	Nakhon Rachasima	Farm Suwan	SR60	14/06	60-37-37	8	8
				07/07	60-37-37	8	8
				14/08	60-37-37	8	8
	Lopburi		SR60	08/06	75-47-47	2	
				08/07	75-47-47	8	8
				09/08	75-47-47	8	8

**Annexe 5.1 (b).** Nombre de pulvérisations insecticides sur les essais phytosanitaires.

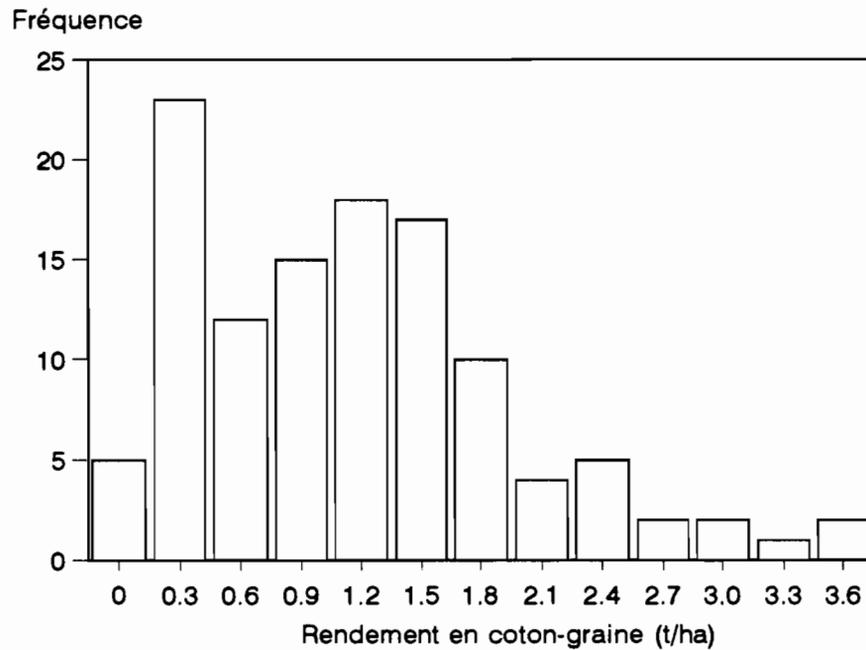
Zone d'étude	Date semis	1991		1992		1993	
		PS	PP	PS	PP	PS	PP
Kanjana-buri	Juin					8	11
	Juillet	8	15			7	10
	Août					6	9
Lopburi	Juillet					8	11
	Août			8	15	9	13
Station de Farm Suwan	Juin					6	10
	Juillet	9	13			5	10
	Août					7	7

**Annexe 5.2.** Analyse fréquentielle des infestations de jassides (*A. biguttula*) au cours de la saison culturale

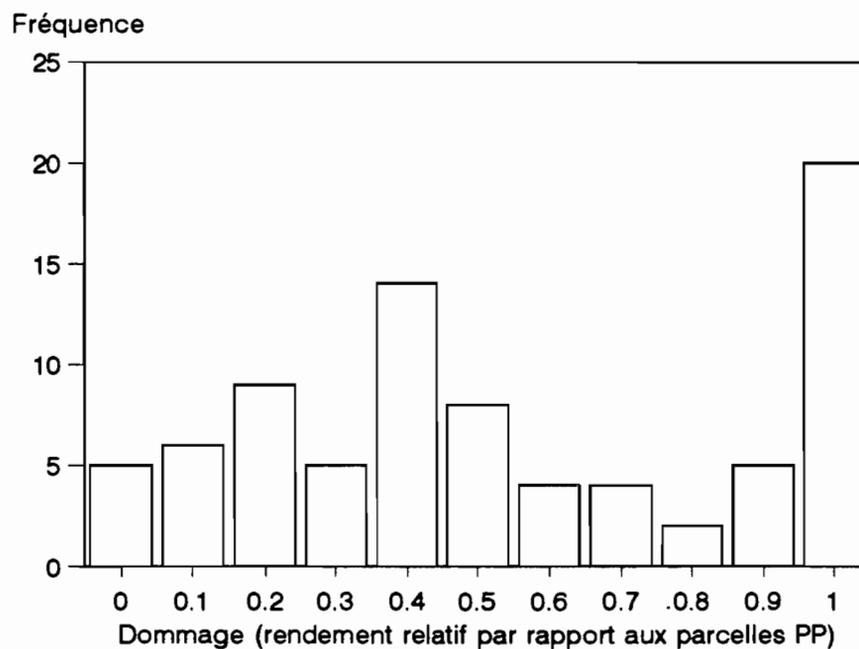
Nombre de jassides par feuille



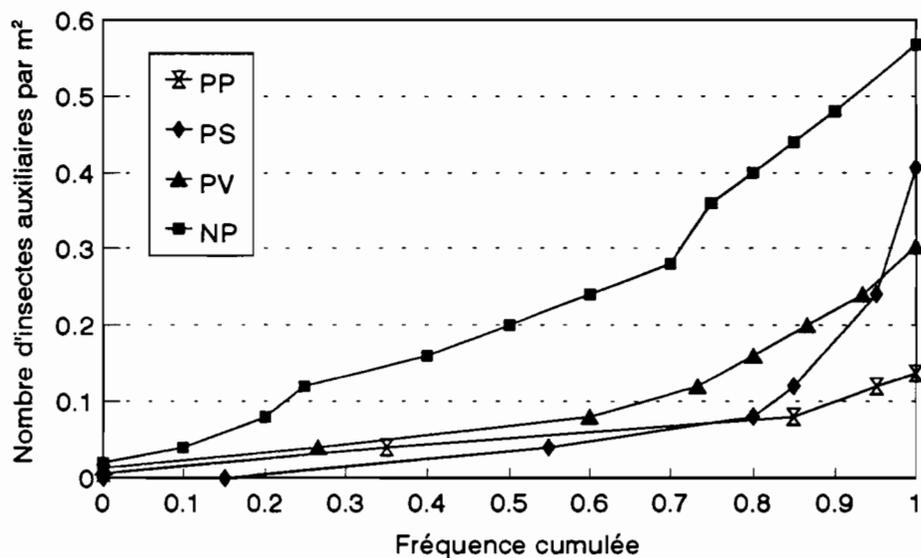
**Annexe 5.3. (a)** Histogramme de fréquence des rendements obtenus sur 116 parcelles élémentaires du réseau expérimental.



**Annexe 5.3. (b)** Histogramme de fréquence du dommage d'origine parasitaire exprimé en terme d'écart relatif au rendement des parcelles PP:  $(Rdt_{PP} - Rdt)/Rdt_{PP}$ . Le dommage est calculé à partir des données enregistrées sur 84 parcelles élémentaires (traitements NP, PV et PS seulement) du réseau expérimental.



**Annexe 5.4.** Fréquence cumulée de présence d'insectes auxiliaires (prédateurs des principaux ravageurs de la culture) selon le degré de protection insecticide sur le réseau expérimental. La valeur en ordonnée correspond à la moyenne, sur l'ensemble des observations réalisées au cours d'une saison, de tous les insectes auxiliaires comptés sur une parcelle.



**Annexe 5.5.** Liste des variables intégrées au modèle d'interaction 'cotonnier - ravageurs' par la méthode des coefficients de piste.

Acronymes	Significations	Unités
<b>Pression d'insectes ravageurs</b>		
J1, J2, J3	logarithme neperien de l'aire sous la courbe d'infestation de jassides (nombre de jasside par feuille / m <sup>2</sup> ) au trois phases de développement du cotonnier (30-60, 60-90 et 90-120 jours après semis)	-
Ch1, Ch2, Ch3	logarithme neperien de l'aire sous la courbe d'infestation de <i>H. armigera</i> (nombre de chenille / m <sup>2</sup> ) au trois phases de développement du cotonnier (30-60, 60-90 et 90-120 jours après semis)	-
<b>Dégâts</b>		
Nsf	Nombre total de sites fructifères par m <sup>2</sup>	site.m <sup>2</sup>
Np	Nombre d'organes fructifères (of) abscissés pourris ou piqués (origine parasitaire) par m <sup>2</sup>	of.m <sup>2</sup>
Nt	Nombre d'organes fructifères abscissés troués par les chenilles par m <sup>2</sup>	of.m <sup>2</sup>
<b>Domage</b>		
Ncra	Nombre de capsules (caps) accessibles: valeur calculée de façon empirique (Ncra=0,53 Nsf - 15,4). Nombre de capsules récoltables par m <sup>2</sup> en l'absence de contrainte parasitaire	caps.m <sup>2</sup>
Ncr	Nombre de capsules récoltées par m <sup>2</sup>	caps.m <sup>2</sup>
DNcr	DNcr=Ncra-Ncr: Domage d'origine parasitaire.	caps.m <sup>2</sup>

**Annexe 5.6.** Matrice des corrélations entre variables caractéristiques des 'infestations d'insectes ravageurs', 'dégâts' et 'dommage' sur le dispositif expérimental<sup>1</sup>.

a) 47 parcelles du groupe A: pas de compensation aux attaques de ravageurs.

	J1	J2	J3	Ch1	Ch2	Ch3	Nt	Np	Nsf	Ncr
DNcr	-0,393 (0,006)	0,163 (0,272)	0,166 (0,263)	-0,174 (0,243)	0,500 (0,000)	-0,000 (0,999)	0,859 (0,000)	0,400 (0,005)	0,659 (0,000)	-0,059 0,692
Ncr	-0,388 (0,007)	-0,575 (0,000)	-0,241 (0,102)	0,126 (0,397)	0,211 (0,154)	0,317 (0,030)	0,036 (0,805)	0,427 (0,002)	0,711 (0,000)	
Nsf	-0,569 (0,000)	-0,318 (0,029)	-0,064 (0,666)	-0,027 (0,857)	0,511 (0,000)	0,238 (0,106)	0,632 (0,000)	0,604 (0,000)		
Np	-0,091 (0,541)	-0,059 (0,694)	0,299 (0,040)	0,008 (0,952)	-0,045 (0,761)	-0,201 (0,175)	0,042 (0,778)			
Nt	-0,462 (0,001)	0,122 (0,415)	-0,024 (0,873)	-0,049 (0,744)	0,686 (0,000)	0,106 (0,479)				
Ch3	-0,555 (0,000)	-0,758 (0,000)	-0,573 (0,000)	-0,263 (0,074)	0,310 (0,034)					
Ch2	-0,653 (0,000)	-0,148 (0,320)	-0,264 (0,073)	-0,142 (0,339)						
Ch1	0,557 (0,000)	0,156 (0,293)	-0,119 (0,425)							
J3	0,292 (0,046)	0,721 (0,000)								
J2	0,465 (0,001)									

b) ensemble des 80 parcelles expérimentales.

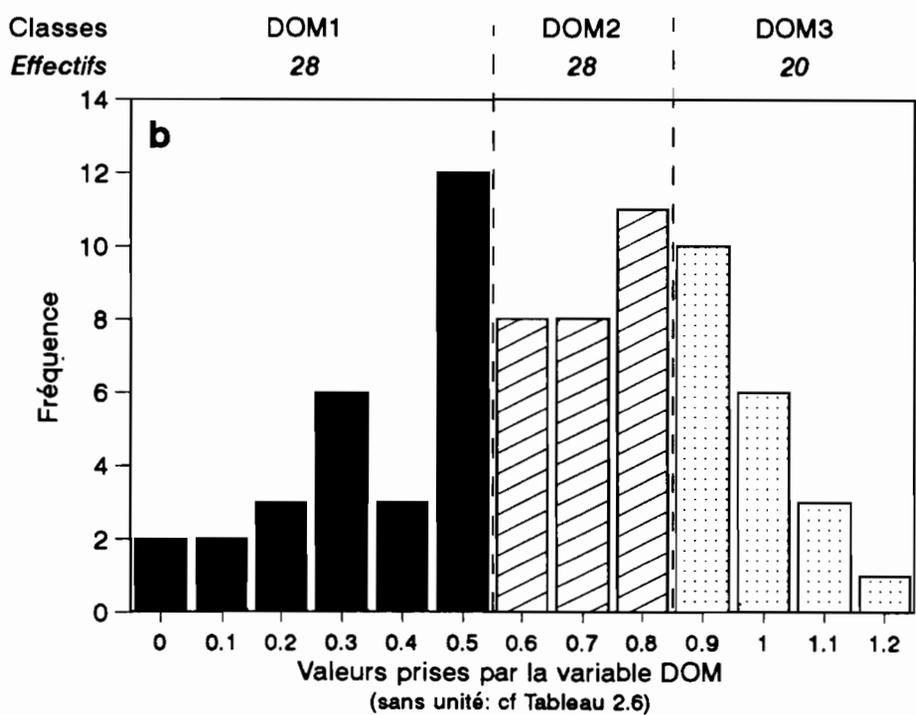
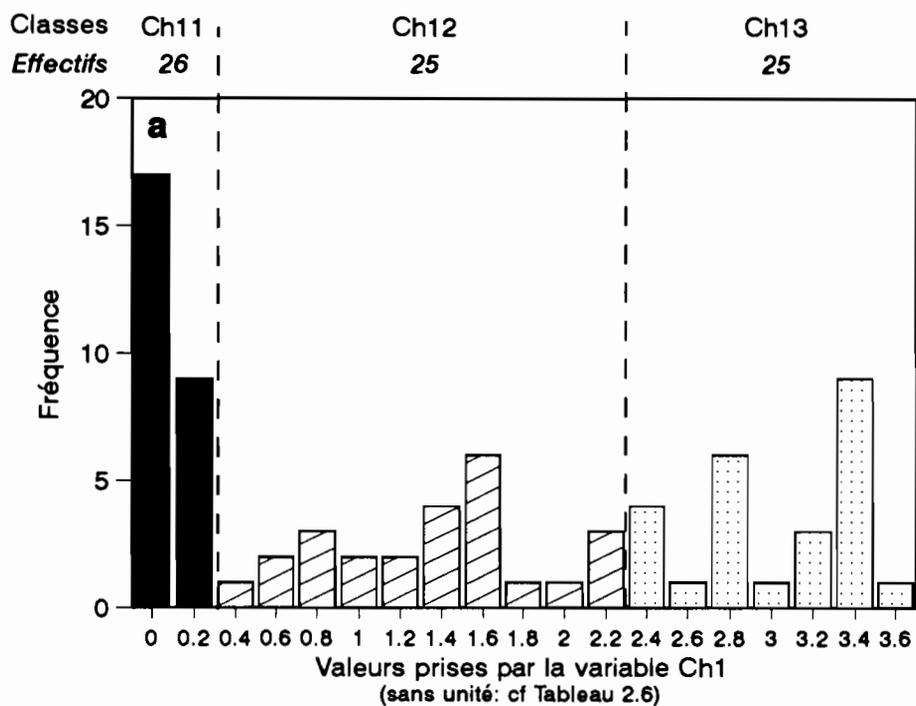
	J1	J2	J3	Ch1	Ch2	Ch3	Nt	Np	Nsf	IC
DNcr	-0,092 (0,415)	0,106 (0,348)	0,359 (0,001)	0,345 (0,002)	0,276 (0,013)	0,256 (0,022)	0,339 (0,002)	0,704 (0,000)	0,794 (0,000)	-0,177 (0,115)
IC	0,271 (0,015)	0,231 (0,039)	-0,105 (0,355)	-0,171 (0,128)	-0,054 (0,633)	-0,109 (0,333)	0,074 (0,515)	-0,537 (0,000)	-0,623 (0,000)	
Nsf	-0,289 (0,009)	-0,201 (0,073)	0,182 (0,182)	0,346 (0,001)	0,301 (0,006)	0,361 (0,001)	0,286 (0,009)	0,748 (0,000)		
Np	0,054 (0,628)	-0,033 (0,773)	0,352 (0,001)	0,329 (0,003)	-0,141 (0,209)	0,118 (0,298)	-0,186 (0,098)			
Nt	-0,388 (0,000)	0,078 (0,492)	-0,198 (0,078)	-0,046 (0,681)	0,670 (0,000)	0,051 (0,651)				
Ch3	-0,436 (0,000)	-0,629 (0,000)	-0,297 (0,007)	0,144 (0,201)	0,351 (0,001)					
Ch2	-0,428 (0,000)	-0,090 (0,425)	-0,257 (0,021)	0,135 (0,233)						
Ch1	0,438 (0,000)	0,066 (0,558)	0,039 (0,726)							
J3	0,365 (0,001)	0,658 (0,000)								
J2	0,548 (0,000)									

<sup>1</sup> La probabilité de rejet de l'hypothèse Ho d'indépendance entre variables est présentée entre parenthèses sous les coefficients de corrélation. Les cases grisées correspondent à des corrélations significatives à P<0,05.

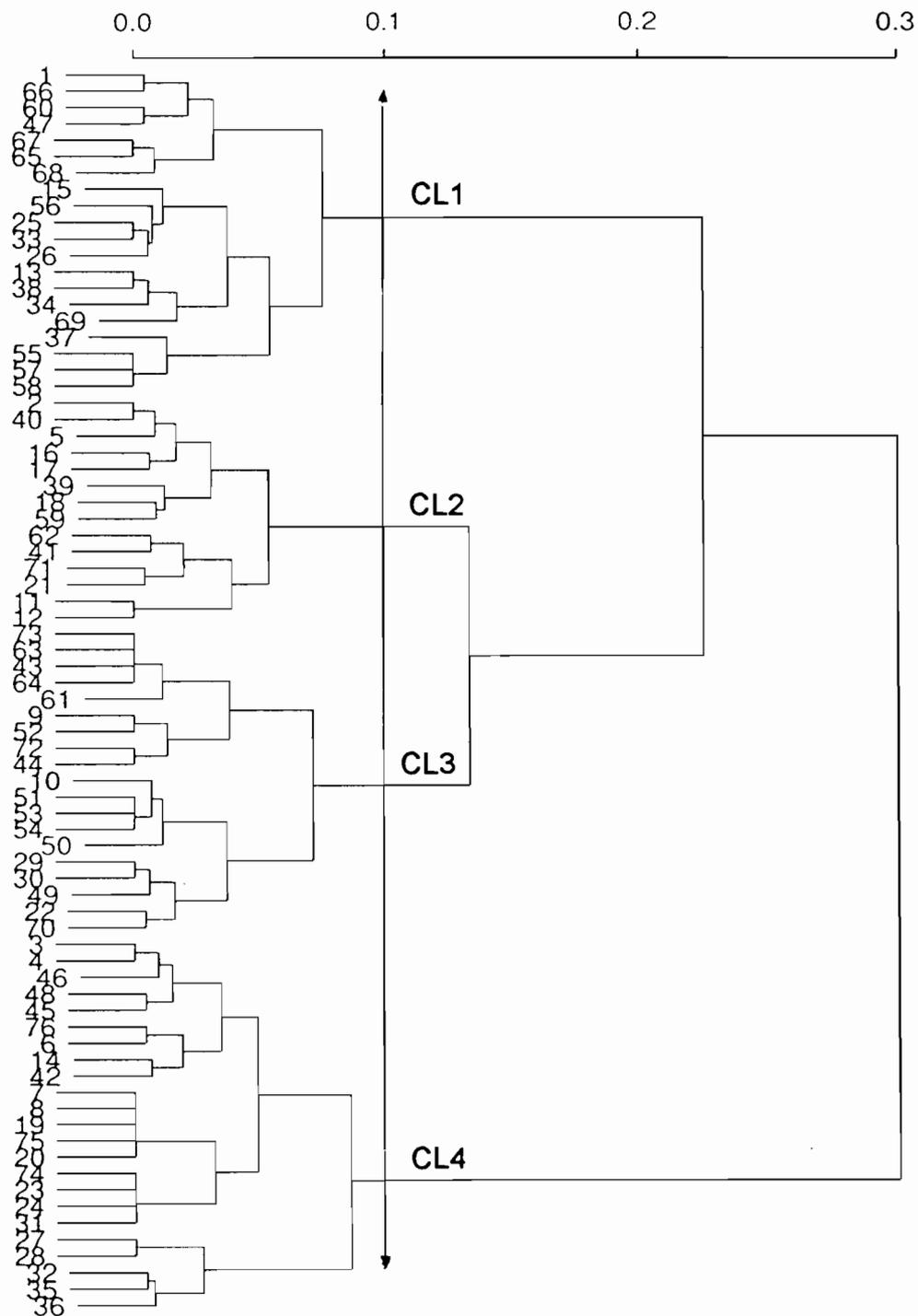
**Annexe 5.7.** Variables utilisées pour l'analyse des relations entre: pratiques culturales - profils parasitaires - rendement

Variable	Signification	Unité
<i>Pratiques culturales</i>		
P	Niveau de protection phytosanitaire (traitements NP, PV, PS, PP)	-
DS	Date de semis	jour julien
<i>Profils parasitaires</i>		
J1, J2, J3	logarithme neperien de l'aire sous la courbe d'infestation de jassides ( <i>Amrasca biguttula</i> ) à trois phases de développement du cotonnier (30-60, 60-90 et 90-120 jours après semis)	-
Ch1, Ch2, Ch3	logarithme neperien de l'aire sous la courbe d'infestation de chenilles ( <i>Helicoverpa armigera</i> ) à trois phases de développement du cotonnier (30-60, 60-90 et 90-120 jours après semis)	-
<i>Rendement</i>		
RDT	Rendement	kg/ha
Ncr	Nombre de capsules récoltées	capsule/m <sup>2</sup>
Ncra	Nombre de capsules accessibles: valeur calculée de façon empirique (Ncra=0,53 Nsf - 15,4). Nombre de capsules récoltables par m <sup>2</sup> en l'absence de contrainte parasitaire	capsule/m <sup>2</sup>
DOM	Domage relatif d'origine parasitaire (Ncra-Ncr)/Ncra	% capsules

**Annexe 5.8.** Distribution des fréquences et constitution des classes pour les variables (a) Ch1: infestations de chenilles en début de cycle et (b) DOM: dommage d'origine parasitaire. Transformation de données quantitatives en variables qualitatives.



**Annexe 5.9.** Représentation des classes par un dendrogramme à l'issue de la classification ascendante hiérarchique. Etablissement de 4 profils de ravageurs en coupant le dendrogramme à un niveau d'agrégation arbitraire (de façon à veiller à l'équilibre des effectifs de chaque classe formée)



**Annexe 5.10.** Transformation des données quantitatives en variables qualitatives: limite des classes.

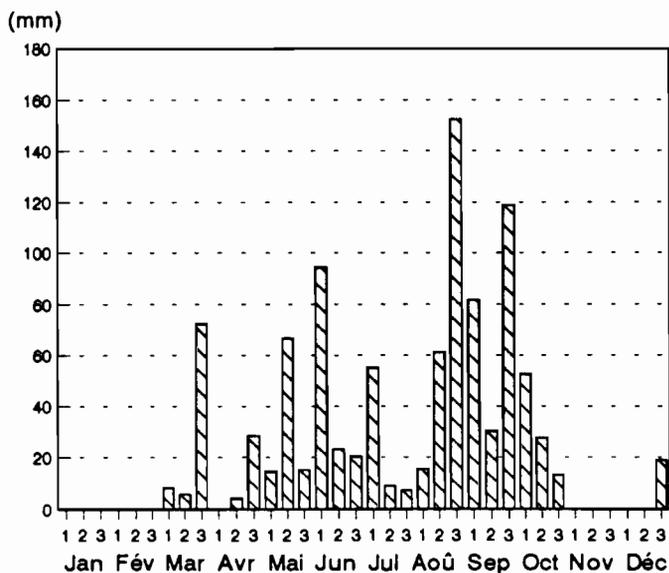
Variable	Modalités
<i>Pratiques culturales</i>	
P	P1: non protégé (NP); P2: protection végétative (PV); P3: protection sur seuil (PS) et P4: protection poussée (PP)
DS	DS1: semis précoce (avant le 10 juillet); DS2: du 10 au 20 juillet; DS3: semis tardif (après le 20 juillet)
<i>Profils parasitaires</i>	
J1	J11: logarithme neperien de l'aire sous la courbe d'infestation de jassides ( <i>Amrasca biguttula</i> ) sur l'intervalle 30-60 jours après semis compris entre 0 et 2.75; J12: compris entre 2.75 et 4.25 et J13: supérieur à 4.25
J2	J21: entre 0 et 3.75; J22: de 3.75 à 5.25 et J23: supérieur à 5.25 (sur la période comprise entre 60 et 90 jours après semis).
J3	J31: compris entre 0 et 5 et J32: supérieur à 5 (sur la période comprise entre 90 et 120 jours après semis).
Ch1	Ch11: logarithme neperien de l'aire sous la courbe d'infestation de chenilles ( <i>Helicoverpa armigera</i> ) sur l'intervalle 30-60 jours après semis compris entre 0 et 0.3; Ch12: de 0.3 à 2.3 et Ch13: supérieur à 2.3.
Ch2	Ch21: compris entre 0 et 1.9; Ch22: de 1.9 à 2.5 et Ch23: supérieur à 2.5 (sur la période comprise entre 60 et 90 jours après semis).
Ch3	Ch31: compris entre 0 et 1.9 et Ch32: supérieur à 1.9 (sur la période comprise entre 90 et 120 jours après semis).
<i>Rendement</i>	
RDT	RDT1: rendement inférieur à 600 kg/ha; RDT2: compris entre 700 et 1300 kg/ha et RDT3: supérieur à 1300kg/ha.
Ncr	NCR1: nombre de capsules récoltées par m <sup>2</sup> inférieur à 20; NCR2: compris entre 20 et 35 et NCR3: supérieur à 35.
DOM	DOM1: dommage relatif d'origine parasitaire (Ncra-Ncr)/Ncra (cf; Tableau 2.6) inférieur à 0.45; DOM2: compris entre 0.45 et 0.75 et DOM3: supérieur à 0.75.

**Annexe 5.11.** Tableau de contingence entre variables descriptives du système cotonnier - profils de ravageurs. Le tableau de Burt consiste en une distribution des effectifs de parcelles selon les modalités croisées des différentes variables. Des tests de  $\chi^2$  ainsi que la probabilité (en italique sous le  $\chi^2$ ) de rejet de l'hypothèse d'indépendance entre variables sont présentés en dessous de la diagonale. Les cases grisées correspondent à des couples de variables dépendantes avec  $P < 0.05$ .

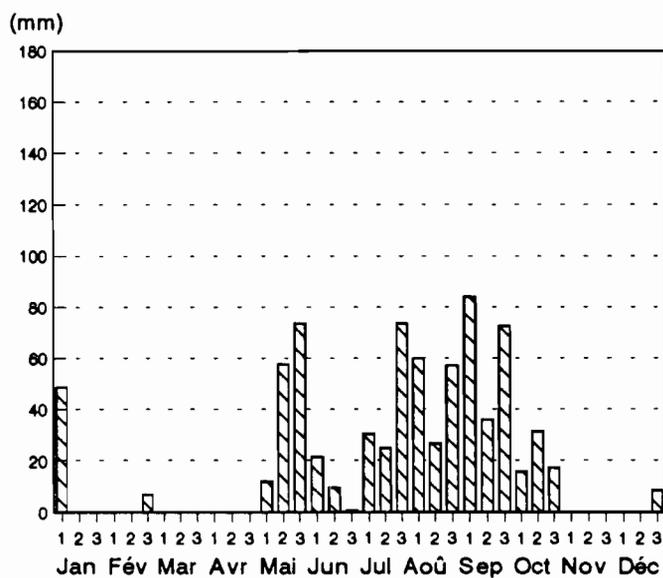
	CI1	CI2	CI3	CI4	P1	P2	P3	P4	DS1	DS2	DS3	NCR1	NCR2	NCR3	DOM1	DOM2	DOM3	RDT1	RDT2	RDT3			
CI1	23	0	0	0	3	3	5	12	11	8	4	6	10	7	9	10	4	4	8	11			
CI2	0	20	0	0	4	3	9	4	5	9	6	8	7	5	6	8	6	5	9	6			
CI3	0	0	19	0	10	4	3	2	2	4	13	13	4	2	6	6	7	13	3	3			
CI4	0	0	0	14	2	2	5	5	5	5	4	4	4	6	7	4	3	5	4	5			
P1	18.9 0.026				19	0	0	0	4	8	7	13	5	1	3	5	11	12	6	1			
P2					0	12	0	0	3	2	7	7	2	3	3	6	3	3	6	3	7	3	2
P3					0	0	22	0	8	8	6	7	8	7	9	9	4	9	9	4	5	7	10
P4					0	0	0	23	8	8	7	4	10	9	13	8	2	3	8	2	3	8	12
DS1	15 0.02								23	0	0	2	7	14	12	9	2	2	8	13			
DS2									0	26	0	8	12	6	7	11	8	3	11	12			
DS3									0	0	27	21	6	0	9	8	10	22	5	0			
NCR1	10.4 0.108				15 0.021				35.5 0				31	0	0	6	6	19	26	5	0		
NCR2													0	25	0	7	17	1	1	15	9		
NCR3													0	0	20	15	5	0	0	4	16		
DOM1	3.5 0.738				17 0.009				7 0.138				45.3 0				28	0	0	6	7	15	
DOM2																	0	28	0	7	11	10	
DOM3																	0	0	20	14	6	0	
RDT1	14.6 0.023				19.4 0.004				41.6 0				67.8 0				20.3 0				27	0	0
RDT2																					0	24	0
RDT3																					0	0	25

**Annexe 6.1-a.** Pluviométrie décadaire sur le site de recherche de Lopburi, de 1991 à 1993.

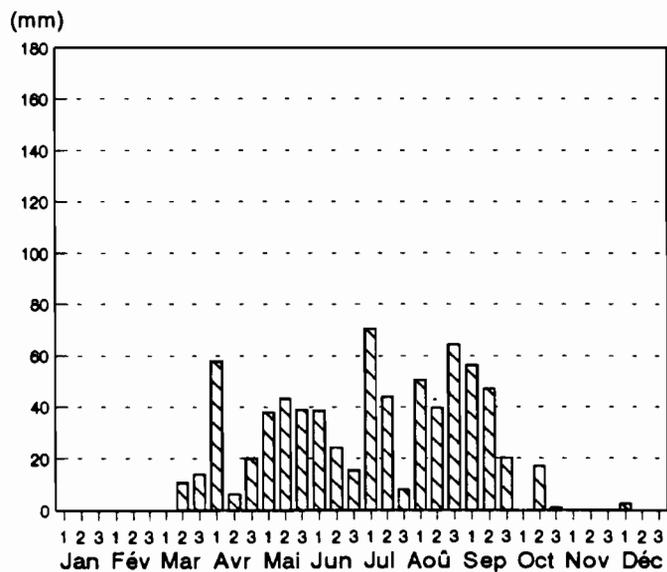
**1991 :**  
total annuel  
997 mm



**1992 :**  
total annuel  
768 mm

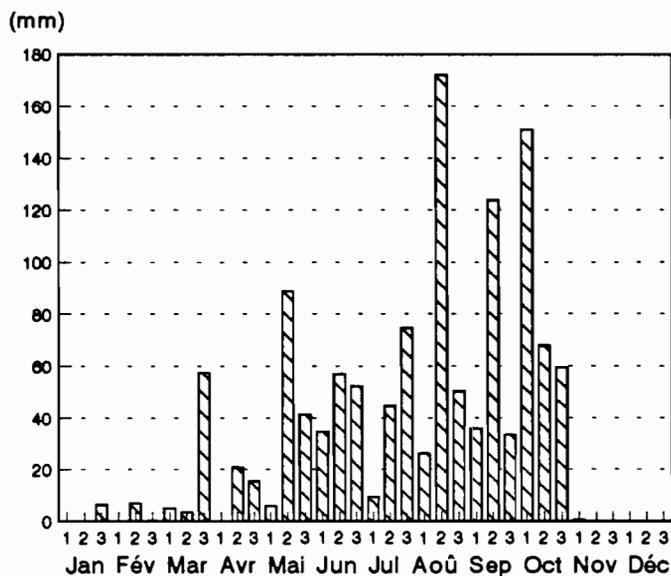


**1993 :**  
total annuel  
726 mm

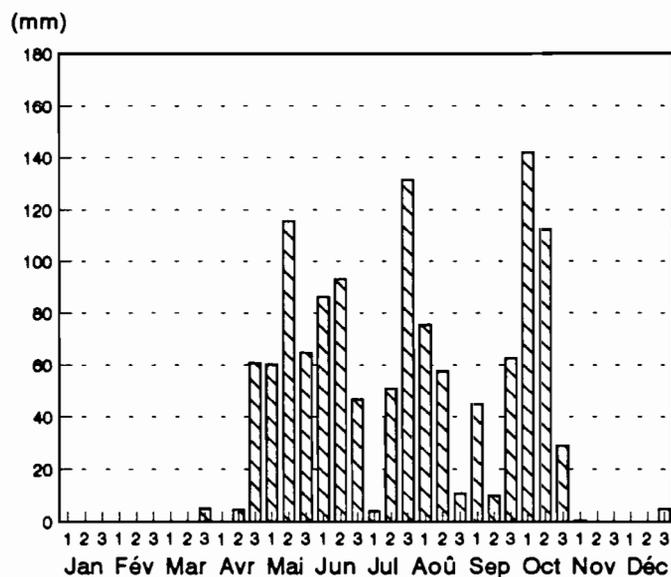


**Annexe 6.1-b.** Pluviométrie décadaire sur le site de recherche de Kanjanaburi, de 1991 à 1993.

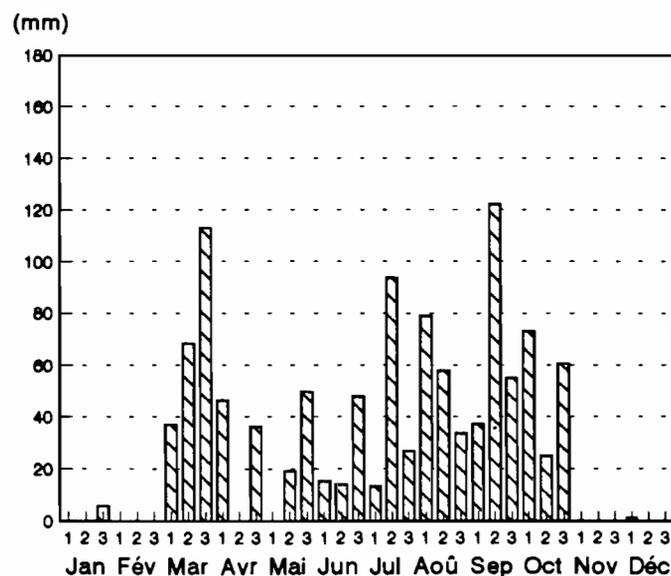
1991 :  
total annuel  
1245 mm



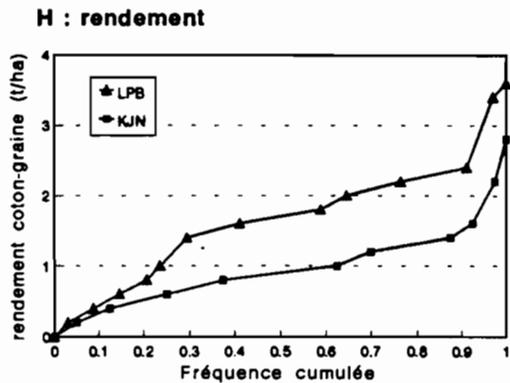
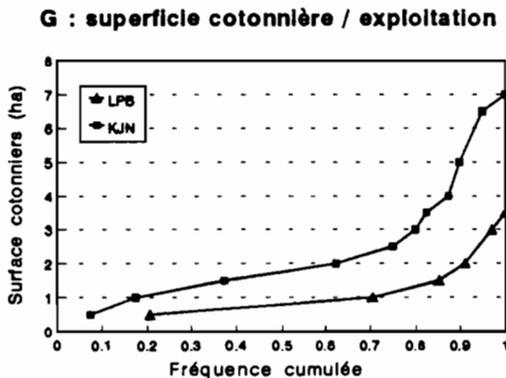
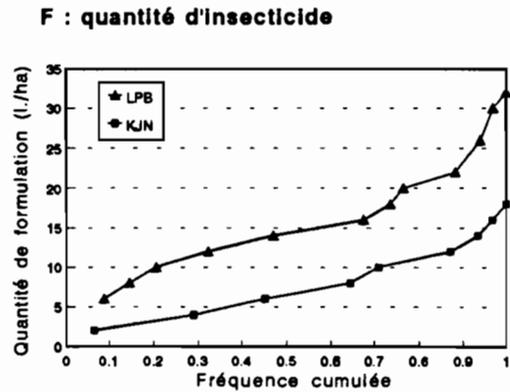
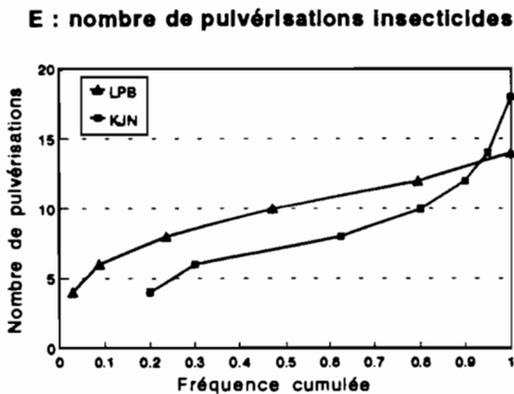
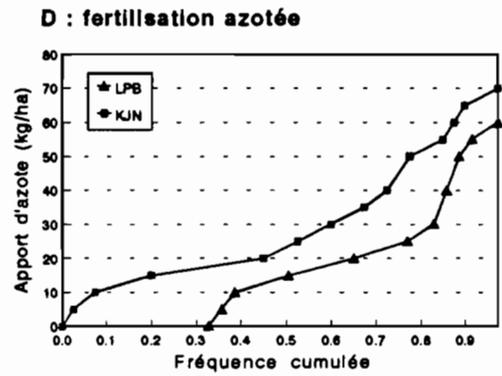
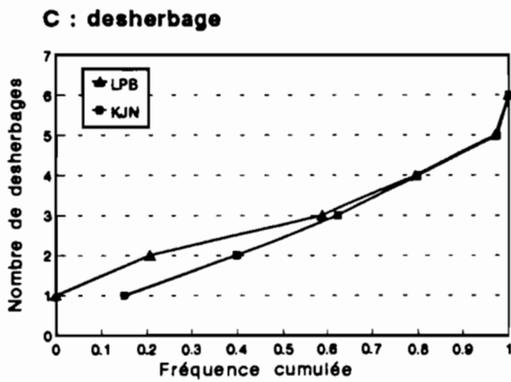
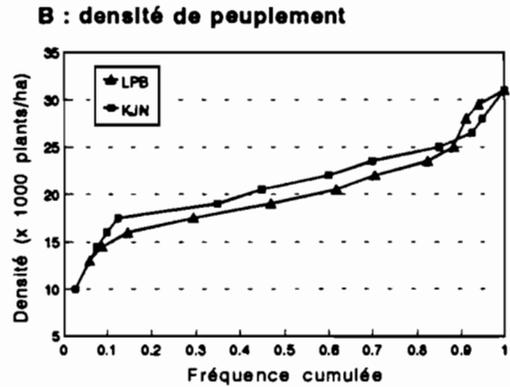
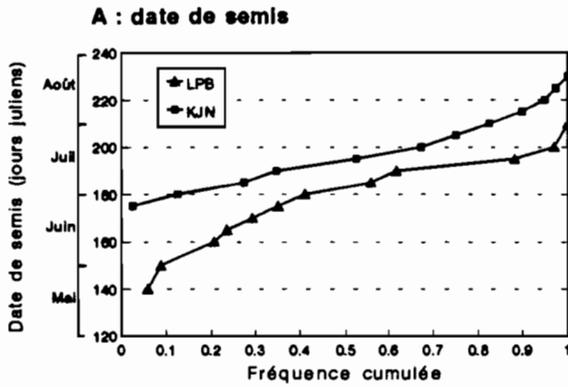
1992 :  
total annuel  
1273 mm



1993 :  
total annuel  
1130 mm

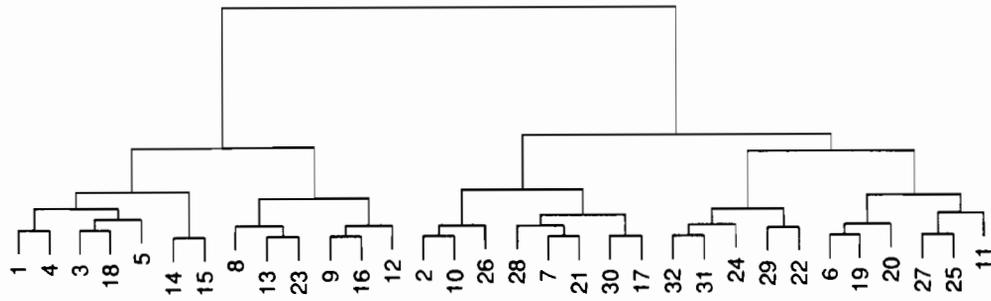


**Annexe 6.2.** Comparaison des modalités de conduite des parcelles cotonnières par les agriculteurs de Lopburi (LPB) et Kanjanaburi (KJN). Les résultats issus des enquêtes 'systèmes de culture' sont exprimés en terme de fréquence cumulée.



**Annexe 6.3.** Dendrogrammes obtenus à l'issue des classifications ascendantes hiérarchiques.

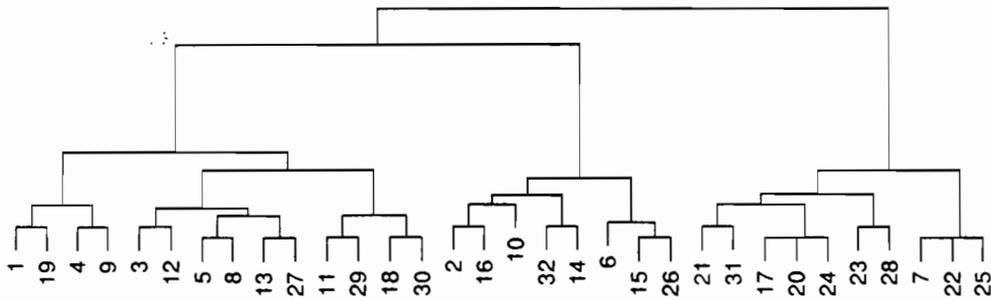
**a)** profils de ravageurs de la province de Lopburi (Clpb1 à Clpb4)



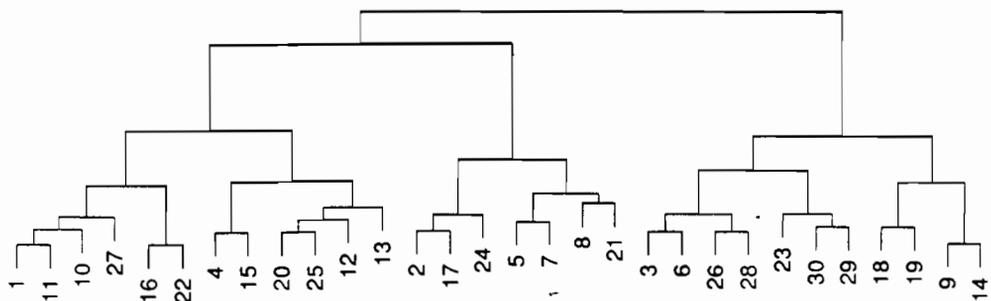
**b)** profils de ravageurs de la province de Kanjanaburi (Ckjn1 à Ckjn3)



**c)** typologie des systèmes de culture à Lopburi (Tlpb1 à Tlpb3)



**d)** typologie des systèmes de culture à Kanjanaburi (Tkjn1 à Tkjn3)



**Annexe 6.4.** Tableaux de contingence entre variables descriptives des combinaison d'opérations culturales, ennemis des cultures et rendement. Le tableau de Burt consiste en une distribution des effectifs de parcelles selon les modalités croisées des différentes variables. Des tests de  $\chi^2$  ainsi que la probabilité de rejet de l'hypothèse d'indépendance entre variables (en italique sous le  $\chi^2$ ) sont présentés en dessous de la diagonale. Les cases grisées correspondent à des couples de variables dépendantes avec  $P < 0.05$ .

### Lopburi

LPB	Tlpb1	Tlpb2	Tlpb3	Clpb1	Clpb2	Clpb3	Clpb4	NCR1	NCR2	DOM1	DOM2	RDT1	RDT2	Adv1	Adv2	Adv3
Tlpb1	14	0	0	4	1	5	4	5	9	6	8	5	9	4	6	4
Tlpb2	0	10	0	5	4	0	1	4	6	8	2	5	5	4	3	3
Tlpb3	0	0	8	2	3	2	1	5	3	2	6	7	1	1	3	4
Clpb1				11	0	0	0	3	8	8	3	5	6	3	4	4
Clpb2		3.7		0	8	0	0	4	4	3	5	4	4	2	3	3
Clpb3		0.174		0	0	7	0	3	4	4	3	4	3	3	2	2
Clpb4				0	0	0	6	4	2	1	5	4	2	1	3	2
NCR1		1.6				2.6		14	0	4	10	14	0	2	6	6
NCR2		0.457				0.453		0	18	12	6	3	15	7	6	5
DOM1		5.9				5.6		3.2		16	0	6	10	5	8	3
DOM2		0.053				0.134		0.075		0	16	11	5	4	4	8
RDT1		5				0.8		18.7		2		17	0	3	6	8
RDT2		0.063				0.855		0		0.156		0	15	6	6	3
Adv1														9	0	0
Adv2		2.2				0.4		2.4		3.7		3.2		0	12	0
Adv3		0.696				0.968		0.3		0.156		0.206		0	0	11

**Annexe 6.5.** Tableaux de contingence entre variables descriptives des combinaison d'opérations culturales, ennemis des cultures et rendement. Le tableau de Burt consiste en une distribution des effectifs de parcelles selon les modalités croisées des différentes variables. Des tests de  $\chi^2$  ainsi que la probabilité de rejet de l'hypothèse d'indépendance entre variables (en italique sous le  $\chi^2$ ) sont présentés en dessous de la diagonale. Les cases grisées correspondent à des couples de variables dépendantes avec  $P < 0.05$ .

**Kanjanaburi**

KJN	Tkjn1	Tkjn2	Tkjn3	Ckjn1	Ckjn2	Ckjn3	NCR1	NCR2	DOM1	DOM2	RDT1	RDT2	Adv1	Adv2
Tkjn1	12	0	0	4	5	3	6	6	7	5	7	5	4	8
Tkjn2	0	11	0	8	1	2	3	8	9	2	2	9	8	3
Tkjn3	0	0	7	2	4	1	4	3	3	4	5	2	2	5
Ckjn1				14	0	0	4	10	9	5	5	9	8	6
Ckjn2		6.2		0	10	0	7	3	5	5	7	3	2	8
Ckjn3		0.184		0	0	6	2	4	5	1	2	4	4	2
NCR1		1.9			4.4		13	0	6	7	12	1	3	10
NCR2		0.384			0.112		0	17	13	4	2	15	11	6
DOM1		3			1.8			1.8	19	0	6	13	12	7
DOM2		0.222			0.406			0.185	0	11	8	3	2	9
RDT1		6			3.3			16.1		3.2	14	0	2	12
RDT2		0.051			0.193			0		0.072	0	16	12	4
Adv1		4.8			4.4			3.6		4.0		8.8	14	0
Adv2		0.090			0.109			0.058		0.046		0.003	0	16

**Annexe 6.6.** Typologie des systèmes de production agricole, réalisée en 1993 dans le sous-district de Silathip, district de Chaibadan, province de Lopburi.

Types	Caractéristiques / Objectifs économiques	Indicateurs
I	Systèmes de production diversifiés en voie de décapitalisation (vente de parcelles pour rembourser des dettes ou division entre les héritiers)  Minimiser le risque économique	surface agricole en propriété l'agriculteur est âgé (plus de 60 ans) processus de décapitalisation pas d'endettement faibles besoins financiers, une grande partie de la production agricole est autoconsommée
II	Exploitations agricoles de très petite surface n'assurant qu'une partie du revenu de la famille.	surface de l'exploitation inférieure à 2ha. double activité.
II-A	Agriculteurs sans terre. Limiter le risque d'endettement et disposer de suffisamment de temps pour les activités salariées.	pas de terrain en propriété restent dans la zone toute l'année (journaliers agricoles) monoculture extensive sur des parcelles en location
II-B	L'activité extérieure prédomine.  Processus d'abandon progressif de l'activité agricole, mais conservent leurs terrains	activité salariée hors du district terrain en propriété enfants des agriculteurs de type I monoculture intensive
III	Systèmes fondés sur des cultures à forte valeur ajoutée	forte consommation d'intrants travail intensif, main d'oeuvre familiale pas d'élevage
III-A	Monoculture intensive sur des exploitations inférieures à 3ha. Maximisation du revenu par unité de surface.	crédits de campagne élevés, mais peu d'endettement à long terme, risque financier élevé terrains en propriété pas d'équipement spécialisé, grande flexibilité
III-B	Systèmes diversifiés à base de cultures intensives : coton, soja, maraîchage, etc. Maximisation de la productivité du travail familial	surface totale supérieure à 3ha, mais une partie est en location, matériel spécialisé : pulvérisateur à moteur, motorisation intermédiaire.
IV	Systèmes de polyculture - élevage Répartir le risque entre différentes activités agricoles	la surface en location est supérieure à celle en propriété, association cultures intensives et extensives (en termes de moyens de production : intrants, main d'oeuvre, etc.)
IV-A	Faible capital	motorisation intermédiaire, surface cultivée inférieure à 8 ha
IV-B	Capital élevé	tracteur, équipement complet, emprunts à long terme surface cultivée supérieure à 8 ha recours à la main d'oeuvre salariée pour certaines opérations.
V	Systèmes fortement spécialisés	position sociale élevée (responsables villageois, activité commerciale parallèle, etc.)
V-A	Monoculture extensive (maïs ou cane à sucre)  Maximiser le profit	surface cultivée supérieure à 30 ha importante surface en location (> 10 ha) fond de roulement très important tracteur, emprunts à long terme recours systématique à la main d'oeuvre salariée
V-B	Arboriculture fruitière Limiter la charge en travail (agriculteurs de type V-A âgés)	surface en vergers > 2 ha surface en propriété exclusivement charges fixes élevées équipement spécialisé disposent d'une épargne importante

VI	Investisseurs extérieurs	capital non agricole main d'oeuvre salariée exclusivement
VI-A	Commerçants locaux occupation agricole du terrain pour affirmer leur droit de propriété	terrains généralement obtenus par expropriation d'agriculteurs endettés, forêts commerciales d'essences à croissance rapide (eucalyptus, filao, etc.), très faible investissement, surface comprise entre 50 et 200 ha.
VI-B	Entreprises privées spéculation foncière, profit	sociétés avec un siège social à Bangkok, investissement élevé pour l'aménagement des terrains surface supérieure à 200 ha, cultures pérennes (vergers fruitiers, forêts commerciales, etc.)

**Annexe 6.7.** Typologie des systèmes de production agricole, réalisée en 1991 dans le sous-district de Tha Sao, district de Saiyok, province de Kanjanaburi.

Types	Caractéristiques / Objectifs économiques	Indicateurs
1	Agriculteurs âgés : passage des cultures annuelles aux cultures pérennes Diminuer la charge en travail	cultures annuelles autoconsommées vergers pour assurer un revenu minimum
2	Spécialisation maïs - coton Dépendance économique des commerçants locaux	agriculteurs d'ethnie Môn (originaires de Birmanie)
3	Systèmes de production intensifs (en travail et intrants) Maximisation du revenu par unité de surface	faible surface cultivée coûts de production élevés association de cultures intensives (maraîchage) avec des cultures extensives
4	Systèmes polyculture - élevage Optimiser la productivité du travail familial	surface cultivée par unité de travail familial = 2 ha nombre de cultures pratiquées supérieur à 3
5	Systèmes spécialisés (une seule activité) Maximisation du profit	mûrier - ver à soie arboriculture fruitière équipement complet, mécanisation investissement important, emprunts à long terme recours au travail salarié

**Annexe 7.1.** Propositions pour un itinéraire technique mécanisé en production cotonnière.

Opération technique	Objectif	Avantage	Contrainte
Semis tardif	limiter le développement végétatif des cotonniers	<ul style="list-style-type: none"> <li>- possibilités de pénétrer dans la parcelle avec le tracteur pour les traitements phytosanitaires</li> <li>- réduit la période d'exposition aux ravageurs, donc le nombre de pulvérisation insecticides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- diminue le potentiel agronomique de production</li> <li>- augmente la sensibilité aux ravageurs</li> <li>- limite la compensation du cotonnier aux dégâts d'insectes</li> </ul>
Forte densité de semis 50 à 100.000 plants/ha	compenser la diminution de la production par plant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- maintien un rendement potentiel équivalent à celui accessible à partir des densités classiques en Thaïlande (20.000 plants/ha),</li> <li>- limite l'enherbement par la fermeture rapide du couvert végétal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- problème de pénétration des insecticides dans le couvert végétal</li> </ul>
Variété pileuse, à faible développement végétatif, précoce	tolérance aux jassides en début de cycle cotonniers de petite taille	<ul style="list-style-type: none"> <li>- limiter les traitements insecticides contre les jassides pour préserver les prédateurs d'<i>H. armigera</i></li> <li>- interventions avec le tracteur jusqu'à la récolte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pas de compensation possible en cas de dégâts parasitaire</li> <li>- risque phytosanitaire groupé sur une courte période</li> <li>- la pilosité des feuilles n'apparaît qu'après quelques semaines</li> </ul>
Traitement de semence contre les insectes piqueurs-suceurs	protection phytosanitaire des plantules (contre les jassides notamment)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- protection phytosanitaire contre les jassides avant l'apparition de la pilosité foliaire</li> <li>- épargne les insectes auxiliaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- coût élevé, risqué en cas de mauvaise levée; mais un épisode de sécheresse est peu probable après le semis car celui-ci est tardif</li> </ul>
Herbicide de prélevée	limiter les sarclages manuels	<ul style="list-style-type: none"> <li>- si un labour est impossible avant le semis en raison de l'humidité du sol,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- coût élevé, risqué si le sol n'est pas assez humide (cf. ci-dessus)</li> </ul>
Sarclage et buttage au tracteur à 45 jours	associe un sarclage mécanique à un engrais, recouvert par le buttage.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- limite le nombre d'interventions manuelles (coût élevé en main d'oeuvre).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- risque de ne pas pouvoir pénétrer dans la parcelle en conditions humides</li> </ul>
Pulvérisations insecticides au tracteur équipé d'une rampe de pulvérisation	rapidité du traitement, diminue la pénibilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- limite les risques d'intoxication pour l'agriculteur</li> <li>- possibilité d'augmenter la surface cultivée</li> <li>- valorisation de l'équipement sur plusieurs cultures (soja, coton).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- problème de portance du sol en conditions humides</li> </ul>
Interventions sur seuil	limiter le nombre de traitements insecticides	<ul style="list-style-type: none"> <li>- diminue les coûts de production</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nécessite des comptages d'insectes, technicité élevée</li> </ul>
Régulateurs de croissance	contrôler la taille des cotonniers	<ul style="list-style-type: none"> <li>- module le développement végétatif en fonction de la pluviométrie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- coût élevé</li> </ul>
Possibilité d'utiliser des défoliants	arrêt végétatif	<ul style="list-style-type: none"> <li>- facilite la récolte (une seule collecte)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- période de fructification réduite au maximum, risque phytosanitaire important</li> </ul>

# **Farmers' strategies for insect pest control in cotton-based cropping systems in Thailand :**

## **Present logics and propositions for a sustainable management.**

### **SUMMARY**

---

Insect pests have been identified as one of the main factors influencing the steady reduction in Thai cotton production during the last few years. Misuse of insecticides have brought about fundamental transformations of the ecosystems (eg. evolution of the entomofauna and insect resistance) as well as the farming systems (high input use, dependence on agrochemicals and lint processing industries, spiralling production costs, etc.). Nowadays, farmers' ability to control pests through ecologically and economically sustainable practices, is a prerequisite for a possible boost to cotton production.

A diagnosis approach focused on farmers' technical choices in relation to characteristics of differentiated agro-ecological and socio-economic environments. Poor mastering of pest control is analysed as a consequence of a poor integration of cotton industry. Farmers, ginning and marketing companies, research institutions, etc. develop individual logics, which often conflict with the common good.

Complementary on-farm experiments and surveys show that increasing insecticide use can lead to increasing seed-cotton yield and decreasing pest damages. This result tend to justify farmers' intensive practices. However, some insect attacks do not cause any yield loss. Cotton plant can compensate pests injuries under certain conditions. In consequence, insecticide sprays are justified only to control the insect attacks that can generate damage. In this way, we can show that a margin of reduction for insecticide consumption exists.

Farmers modulate cotton plant ability to compensate pest injuries through different cultivation practices. The choice of a sowing date, fertilisation rate, weed control technique are insect pest control tactics, in the same way as sprays of chemical insecticide. A given yield can thus be reached through different ways, depending on the relative importance given to the agronomic potential of the crop and to yield reduction factors (such as insect pests, weed, diseases).

The constraints imposed by the different patterns of farming system functioning (labor force availability, agricultural area, capital, etc.) limit the range of variability in cotton based cropping systems. Finally, a typology of 'cotton growing strategies' groups farms that are susceptible to adopt the same sets of recommendations, compatible with integrated pest management.

## RESUME

---

La contrainte phytosanitaire a été identifiée comme l'un des principaux facteurs responsables de l'abandon progressif de la culture cotonnière en Thaïlande. La surconsommation d'insecticides a entraîné des transformations profondes des écosystèmes (évolution du faciès de l'entomofaune, phénomènes de résistance des insectes ravageurs, etc.) ainsi que des systèmes de production (forte utilisation d'intrants, relation de dépendance vis-à-vis de l'amont et de l'aval de la filière, spirale d'accroissement cumulatif des coûts de production et de l'endettement paysan, etc.). Aujourd'hui, la capacité des agriculteurs à contrôler le parasitisme de manière écologiquement et économiquement durable, est devenue la condition nécessaire à une relance éventuelle de la production cotonnière.

Notre démarche de diagnostic s'est attachée à identifier les déterminants des pratiques culturales des agriculteurs, confrontés à des contextes agro-écologiques et socio-économiques diversifiés. La faible maîtrise technique en matière de protection de la culture est analysée comme la conséquence de dysfonctionnements à l'interface entre plusieurs niveaux organisationnels. En effet, l'approche géographique et historique à l'échelle de la région révèle de nombreuses incompatibilités entre les logiques individuelles des différents acteurs de la filière et l'intérêt collectif.

La confrontation des résultats d'enquêtes sur les systèmes de culture cotonniers à ceux des expérimentations en milieu paysan suggère qu'une utilisation croissante d'insecticide est associée à une augmentation du rendement et une diminution du dommage parasitaire. Les pratiques intensives des agriculteurs tendent donc à se justifier. Cependant, nous montrons que les attaques d'insectes ne conduisent pas forcément à des pertes de récolte, car le cotonnier est capable, sous certaines conditions, de compenser les dégâts de ravageurs. En conséquence, les pulvérisations insecticides ne sont justifiées que contre des attaques d'insectes génératrices de dommages. Nous montrons ainsi qu'il existe une marge de réduction de la consommation insecticide.

Par ailleurs, les agriculteurs jouent sur le phénomène de compensation en modulant la sensibilité du cotonnier aux attaques de ravageurs. La date de semis, la fertilisation, le contrôle de l'enherbement, etc. sont parties prenantes des stratégies de protection phytosanitaires, au même titre que la lutte chimique. Cependant, les contraintes imposées par le fonctionnement des systèmes de production (disponibilités en main d'oeuvre, surface cultivable, capital, etc.) limitent la gamme des possibilités pour les itinéraires techniques cotonniers.

Une typologie des stratégies cotonnières permet d'identifier les exploitations susceptibles d'adopter les mêmes recommandations, compatibles avec la lutte intégrée.