

# **Caractérisation, modélisation et analyse de pathosystèmes multiples pour leur gestion**

**S. Savary, INRA**

# 1 - Principaux points (1)

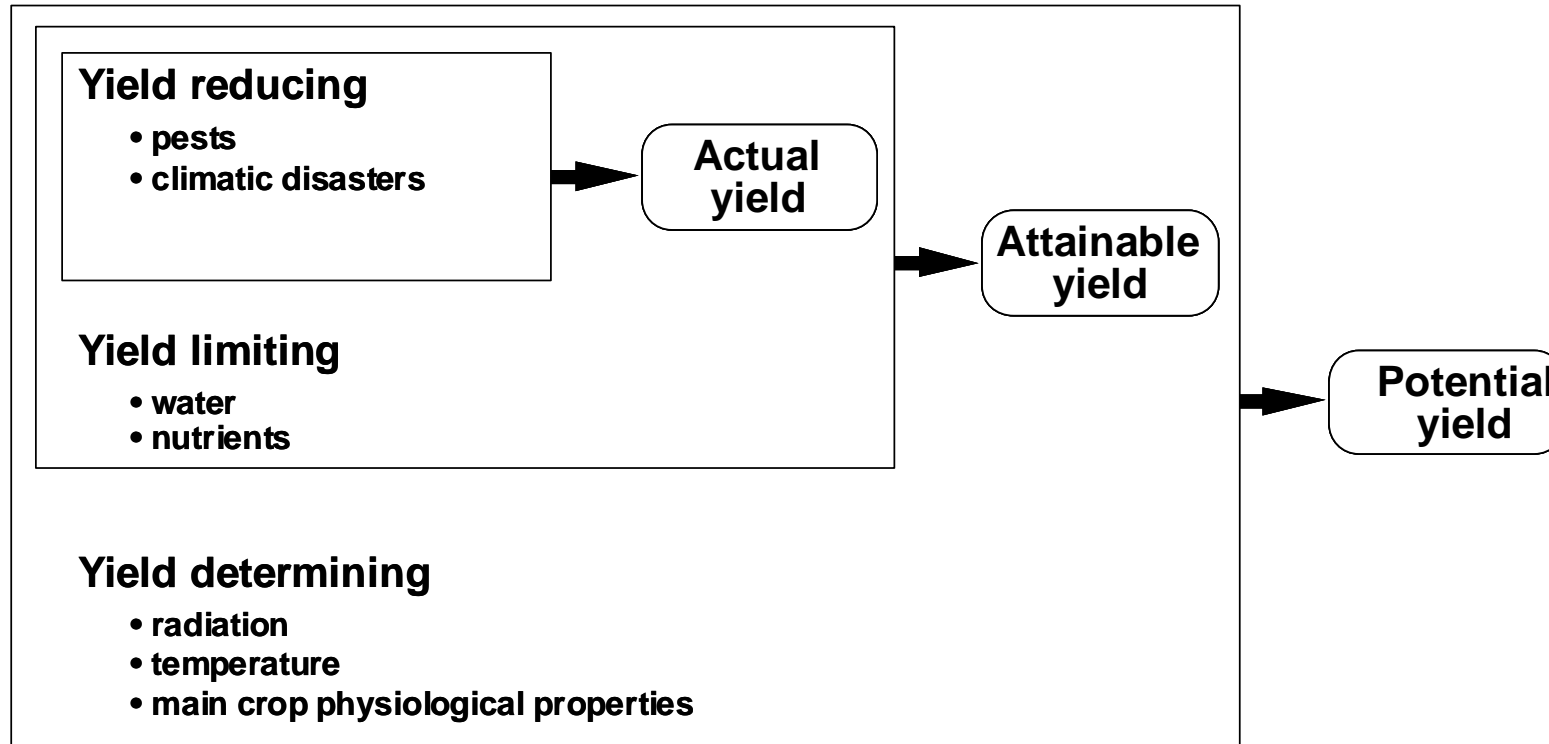
- une 'épidémie' (bioagresseurs en général) ne se traduit pas nécessairement toujours par une perte de récolte;
- une perte de récolte ne se traduit pas nécessairement toujours par une perte économique;
- dans beaucoup de cas, un peuplement végétal n'est pas exposé à un, mais plusieurs bioagresseurs;
- dans presque tous les cas, l'objectif du producteur n'est pas unique, et n'est pas seulement de maximiser un rendement;
- le propos pratique, immédiat, et tactique, de la protection des cultures n'est donc pas d'éviter que des épidémies aient lieu; c'est plutôt d'éviter des pertes économiques qu'il s'agit;
- dans une perspective pratique, mais aussi scientifique, il est utile d'inclure d'autres objectifs que la seule prévention des épidémies (ou des pertes de récolte).

# 1 - Principaux points (2)

- un écosystème cultivé est, en principe, plus 'simple' qu'un écosystème peu anthropisé;
- ces systèmes 'simples' sont compliqués dans leur comportement par des intervention humaines;
- plusieurs démarches existent pour améliorer la gestion (tactique, stratégique) des écosystèmes cultivés.
- Plan de l'exposé :
  2. écosystèmes, agrosystèmes, pathosystèmes
  3. approches
  4. approche 1: lier des modèles existants entre eux
  5. approche 2: caractérisation
  6. approche 3: mobiliser les outils de gestion disponibles
  7. approche 4: distiller le savoir existant: EIPRE
  8. approche 5: simuler des futurs agricoles possibles

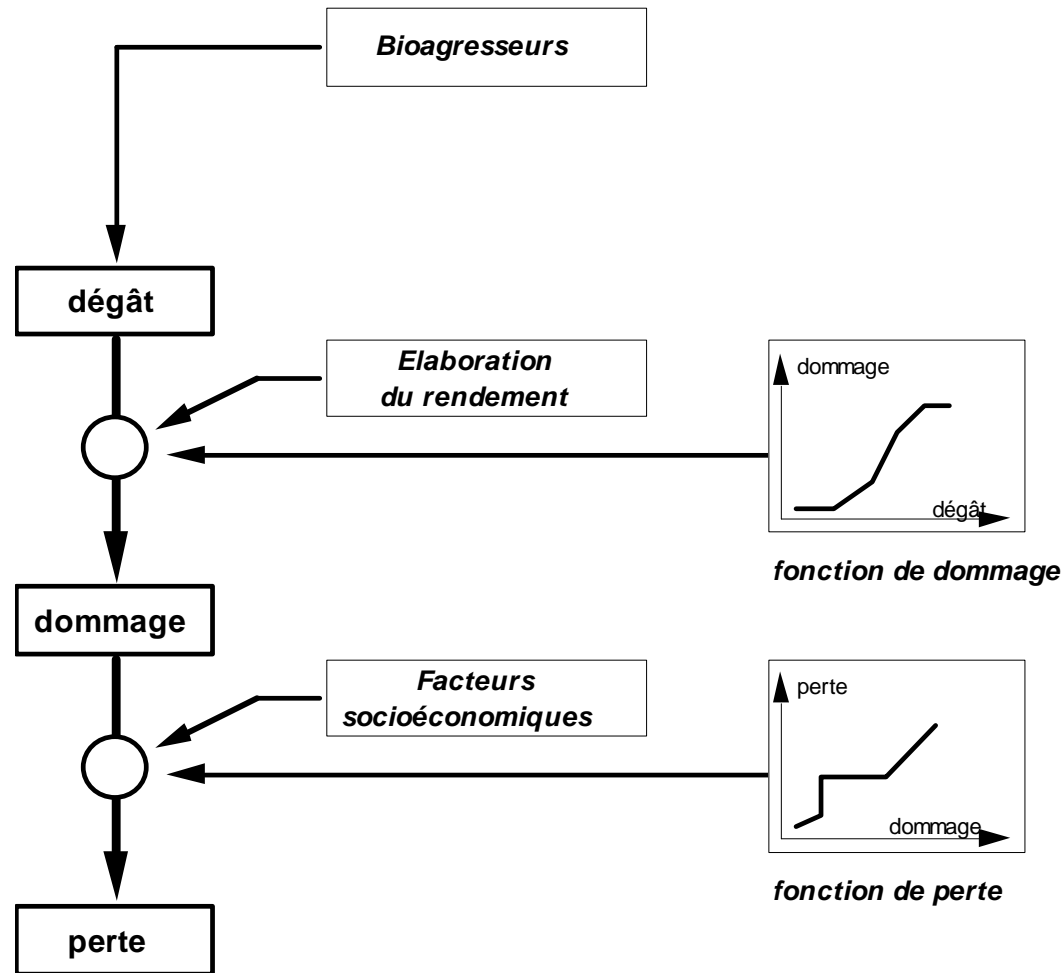
## 2 – Ecosystèmes, Agrosystèmes, Pathosystèmes (1)

### Yield defining factors



$$\text{damage} = \text{attainable yield} - \text{actual yield}$$

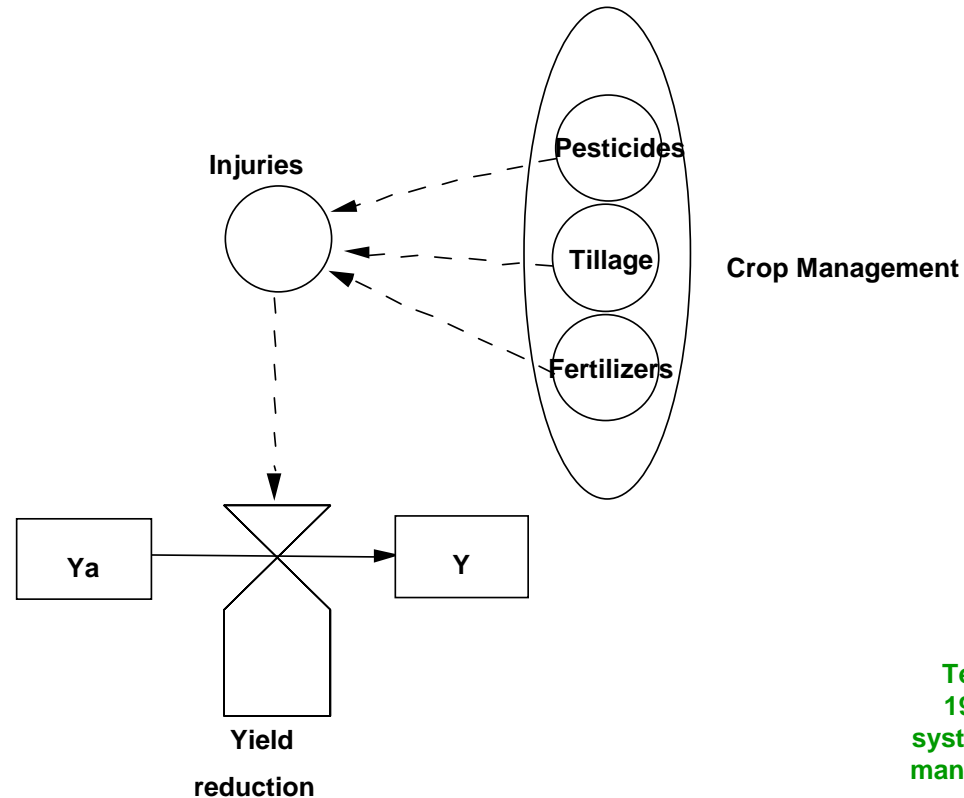
## 2 – Ecosystèmes, Agrosystèmes, Pathosystèmes (2)



Source :

Savary, S. (Ed.), 1991.  
Approches de la  
Pathologie des Cultures  
Tropicales. L'Exemple de  
l'Arachide en Afrique de  
l'Ouest. Karthala-  
ORSTOM, Paris. 288p.

## 2 – Ecosystèmes, Agrosystèmes, Pathosystèmes (3)

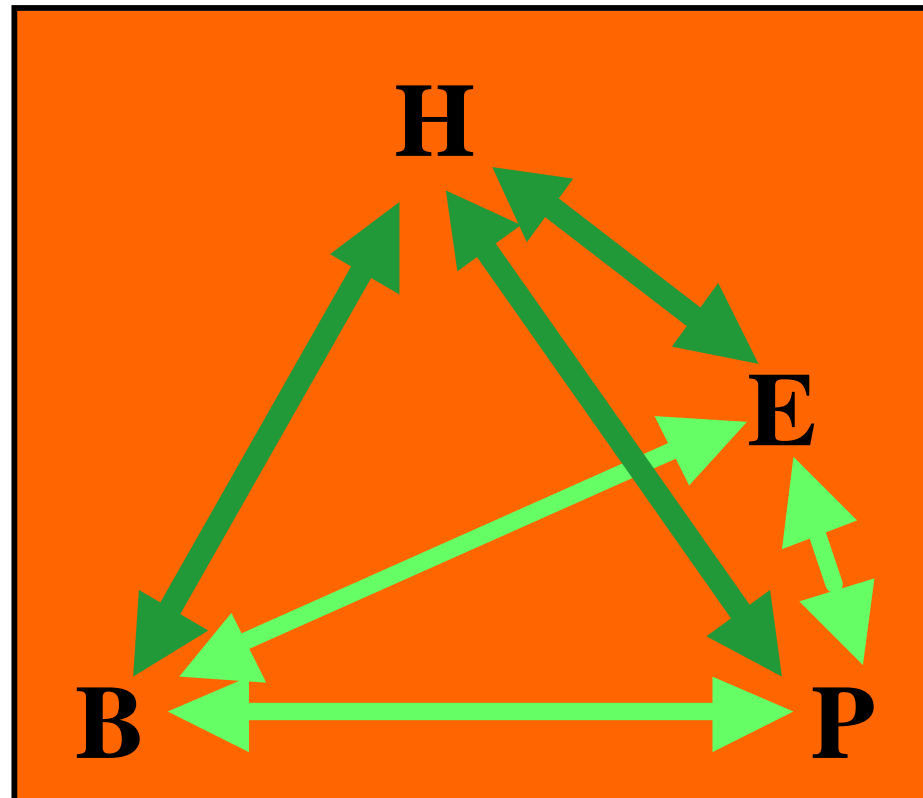


Ya : attainable yield : kg / ha ; \$ ; quality ; diet (and diet balance)  
 Y : actual yield : kg / ha ; \$ ; quality ; diet (and diet balance)

Source  
 Teng, P.S. & Savary, S.,  
 1992. Implementing the  
 systems approach in pest  
 management. *Agricultural  
 Systems*. 40:237-264.

Willoquet, L. Savary, S.  
 Fernandez, L. Elazegui, F.  
 & Teng, P.S. 2000.  
 Development and  
 evaluation of a multiple-  
 pest, production situation  
 specific model to simulate  
 yield losses of rice in  
 tropical Asia. *Ecological  
 Modelling* 131: 133-159.

## 2 – Ecosystèmes, Agrosystèmes, Pathosystèmes (4)



## 2 – Ecosystèmes, Agrosystèmes, Pathosystèmes (5)

type de décision	définition	opérateurs	exemples
tactique	prise en cours de végétation, de cycle, sur un peuplement établi	agriculteur, conseillers	<ul style="list-style-type: none"> <li>• traitements pesticides (traiter, ne pas traiter, attendre)</li> <li>• irriguer</li> <li>• apport d'azote complémentaire</li> </ul>
stratégique – court terme	prise alors que le peuplement va être établi	agriculteur, conseillers	<ul style="list-style-type: none"> <li>• choix variétal</li> <li>• rotation</li> </ul>
stratégique – long terme	prise pour un ensemble de cycles culturaux, de succession	agriculteur, chercheurs, planificateurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• système de production</li> <li>• choix de filière</li> <li>• programme de sélection</li> <li>• politique de recherche</li> </ul>

Zadoks, J.C. & Schein, R.D., 1979.  
Epidemiology and Plant Disease Management.  
Oxford University Press, New York. 427 p.



## **3 - Approches**

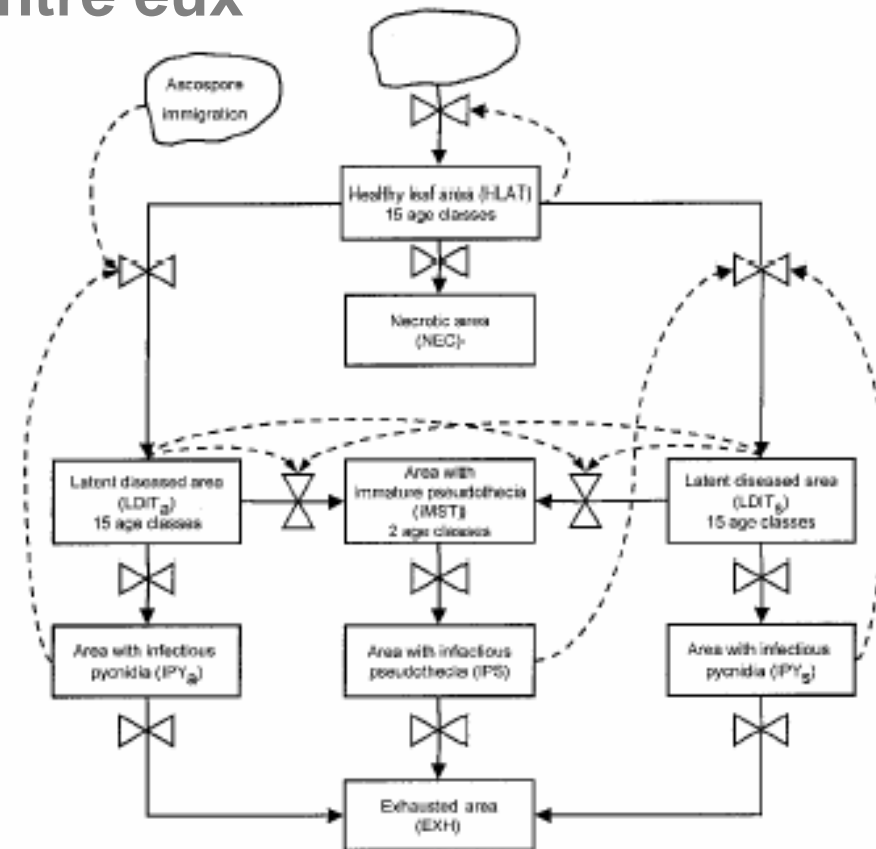
- **approche 1 : lier des modèles existants entre eux**
- **approche 2 : construire et utiliser un canevas de caractérisation**
- **approche 3 : analyse empirique fondée sur les outils disponibles**
- **approche 4 : distiller le savoir existant : EIPRE**
- **approche 5 : les techniques de simulation pour se projeter vers des futurs agricoles possibles**

## **4 – Approche 1 : lier des modèles existants entre eux**

- **Un exemple (*Septoria tritici*, Eriksen et al., 2001)**
- **Un schéma général (Savary, 1989)**
- **Exemple du blé en France (T. Darbin, InVivo, Comm. Pers.)**
- **Possibilités et difficultés**

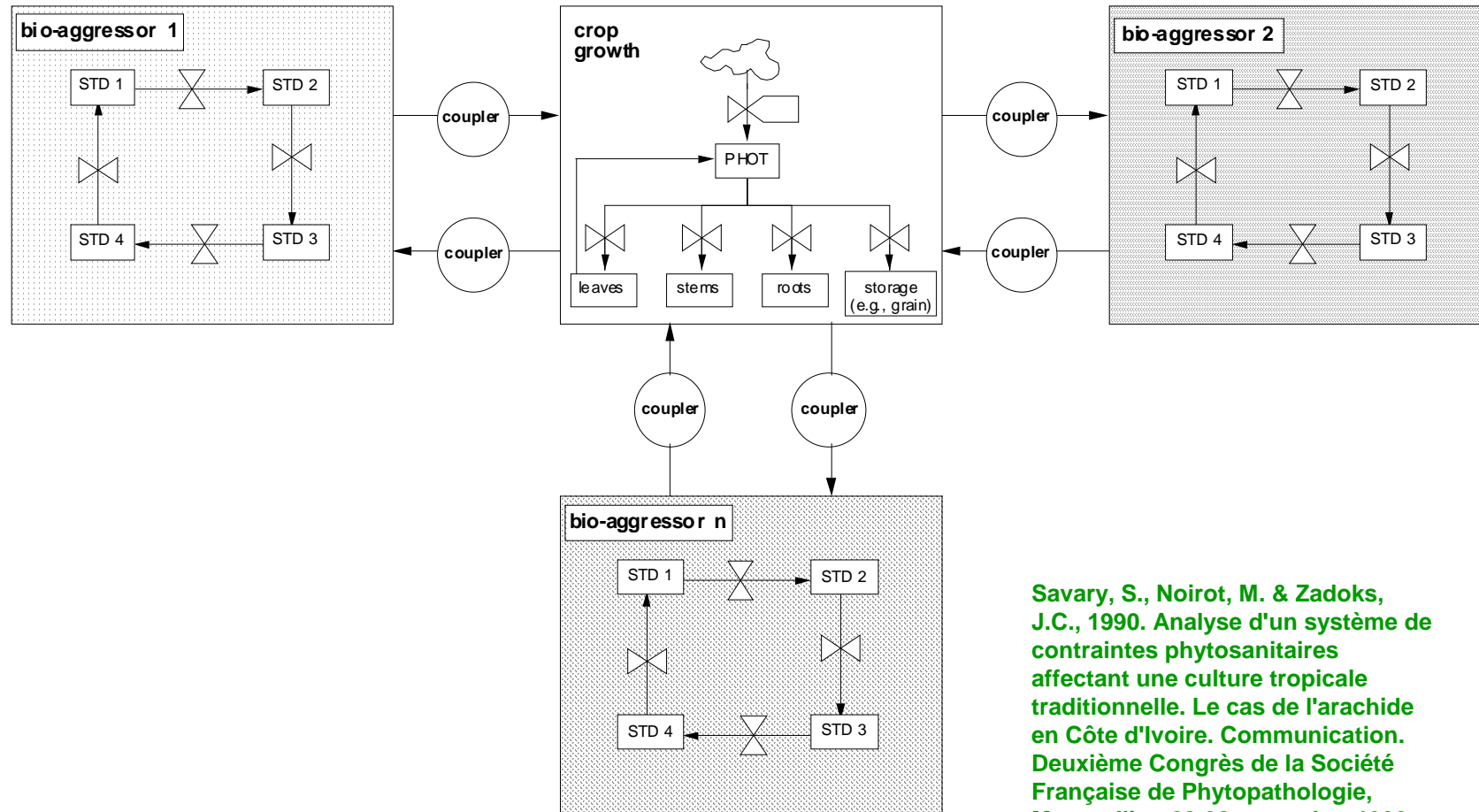
# 4 – Approche 1 : lier des modèles existants entre eux Un exemple (*Septoria tritici*, Eriksen et al., 2001)

Eriksen, L. Shaw, M.W. Ostergard, H., 2001. A model of the effect of pseudothecia on genetic recombination and epidemic development in populations of *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology* 91: 240-248



**Fig. 1.** Flow diagram for the model simulating the epidemic development of septoria tritici blotch, caused by pycnidiospores and ascospores of the fungus *Mycosphaerella graminicola*. State variables are shown in rectangular boxes and rates are shown as valve symbols. Flows of leaf area are indicated with solid arrows, and effects of state variables on rates are indicated by broken arrows. A subscript  $i$  ( $= a$  or  $s$ ) on state variables denotes that the variable represents leaf area infected by asexual or sexual descendants of the immigrant *M. graminicola* population.

# 4 – Approche 1 : lier des modèles existants entre eux Un schéma général\*



Savary, S., Noirot, M. & Zadoks, J.C., 1990. Analyse d'un système de contraintes phytosanitaires affectant une culture tropicale traditionnelle. Le cas de l'arachide en Côte d'Ivoire. Communication. Deuxième Congrès de la Société Française de Phytopathologie, Montpellier, 28-30 novembre 1990.

## 4 – Approche 1 :

lier des modèles existants entre eux

### Exemple du blé en France (T. Darbin, InVivo, Comm. Pers.)

- il existe tout un ensemble de modèles, de complexités variables, qui permettent de simuler et d'anticiper des épidémies;
- c'est en particulier le cas des maladies du blé;
- ces modèles sont tournés vers un bioagresseur du blé à la fois;
- **question 1** : est-il possible de combiner ces modèles, pour passer d'une série de modèles 'bioagresseur-spécifiques' à un modèle 'bioagresseur-générique'?
- **question 2** : le modèle 'bioagresseur-générique' peut-il satisfaire les besoins d'une gestion (tactique) pluri-bioagresseurs?
- **question 3** : ce modèle peut-il être lié à d'autres outils, existant déjà et mis en œuvre actuellement, qui permettent de gérer la fumure minérale du blé?

# 4 – Approche 1 : lier des modèles existants entre eux

Modèles	Eriksen, Shaw & Ostergard, 2001 <i>S. tritici</i> (1)	Yuen & Djurle, 1991 <i>S. Tritici</i> (2)	Teng, Blackie & Close, 1977-1980 <i>P. hordei</i> (3)	Rouzet & Murer, 1988 <i>S. tritici</i> (4)	De la Rocque 1988 <i>P. recondita</i> (5)
modèle de simulation	oui	oui	oui	oui	non
<b>Peuplement végétal</b>					
classes d'âge (peuplement)	oui	oui	oui (2 rangs foliaires)	oui	oui
simulation du peuplement végétal	oui	oui	non	oui / non (données observées)	oui / non (nombre de sites fixes)
<b>Epidémie</b>					
x0	oui (estimé, données empiriques)	oui (lésions initiales établies)	oui (lésions initiales établies)	non (arbitraire)	non (arbitraire)
infection	oui	oui	oui	oui	oui
simulation surface malade	oui	oui	oui (nombre de pustules)	oui	oui
stades sexué et asexué (pathogène)	oui	non	N.A.	non	N.A.
période de latence	oui	oui	oui	oui	oui
période infectieuse	oui	oui	oui	oui	oui
extension lésions	non	oui	N.A.	oui	N.A.
dissémination pathogène	non	oui (gradients)	non	non	non
effet de la maladie sur la croissance de l'hôte	non	oui	non	non	non
<b>Pertes de récolte (dommage)</b>					
simulation rendement (pertes de récoltes)	non	non	oui	non	non
<b>Fonctions directrices</b>					
Tm	oui	oui	oui	oui	oui
Tx		oui	oui		
Tn		oui	oui		
Pluie		oui	oui		
Humectation couvert		oui	oui	oui	(HR>95%)
Radiation		oui	oui		
Evaporation		oui			
Pas de temps	1 jour	1 jour	1 jour	1 jour	parasite: 3h couvert: 1j

- (1) Modèle 1 :  
Eriksen, L., Shaw, M.W. & Ostergard, H., 2001. A model of the effect of pseudothecia on genetic recombination and epidemic development in populations of *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology* 91:240-248.
- (2) Modèle 2 :  
Djurle, A. & Yuen, J.E., 1991. A simulation model for *Septoria nodorum* in winter wheat. *Agricultural Systems* 37:193-218.
- (3) Modèle 3 :  
Teng, P.S., Blackie, M.J. & Close, R.C., 1978. Simulation modelling to rationalize fungicide use. *Outlook Agric.* 9:273-277.  
Teng, P.S., Blackie, M.J. & Close, R.C., 1977. A simulation analysis of crop yield loss due to rust disease. *Agricultural Systems* 2: 189-198.  
Teng, P.S., Blackie, M.J. & Close, R.C., 1980. Simulation of the barley leaf rust epidemic: structure and evaluation of BARSIM I. *Agricultural Systems* 5:85-103.
- (4) Modèle 4 :  
Rouzet, J. & Murer, F., 1988. Etude d'un modèle permettant la simulation d'une épidémie de *Septoria tritici* (PRE-SEPT) sur blé d'hiver. *Deuxième Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes*, Vol. 1, 351-359.
- (5) Modèle 5 :  
De la Rocque, B., 1988. Prévisions des dates de traitement contre la rouille brune du blé: le modèle SPIROUIL. *Deuxième Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes*, Vol. 1, 319-330.

## **4 – Approche 1 : lier des modèles existants entre eux Possibilités et réflexions (1)**

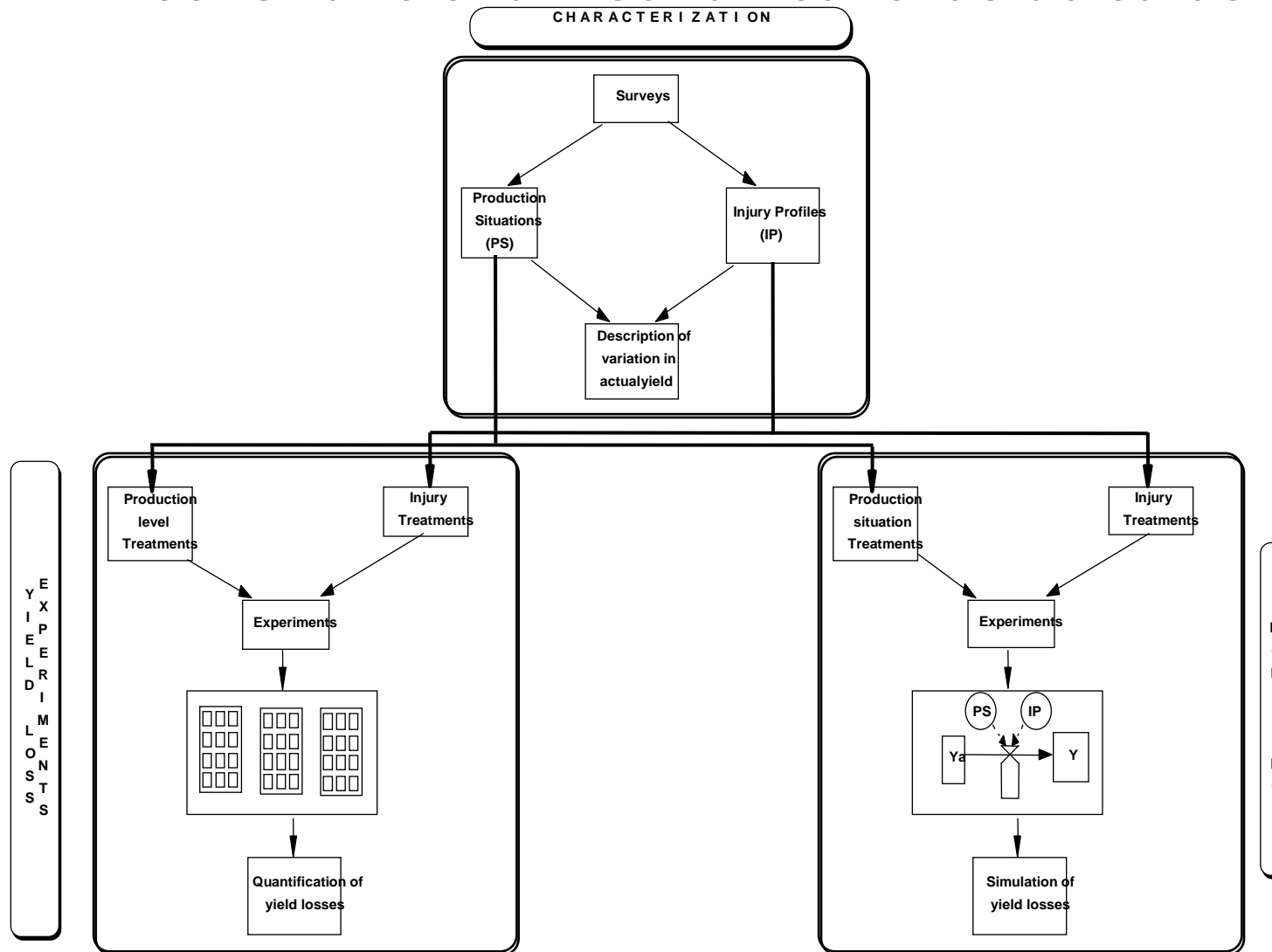
- **les (quelques) modèles cités sont différents; pour les combiner, il faudrait:**
  - **qu'ils soient liés entre eux; le lien naturel entre différentes dynamiques de bioagresseur est le peuplement végétal;**
  - **qu'ils fonctionnent avec le même pas de temps; la journée (climatique) est un choix courant, naturel et pratique;**
  - **qu'ils soient ramenés au même niveau de détail (simplifier les modèles sophistiqués, détailler les modèles trop simples)**
  - **remarque: tous ces modèles, à des degrés variables, sont défaillants quant à (et sensibles à) l'estimation des populations initiales ( $x_0$ ).**
- **si l'objectif est véritablement une décision tactique (pesticide) en cours de végétation, a-t-on vraiment besoin d'une simulation de l'entièreté des épidémies?—sans doute, non (cf. point 7).**

## 4 – Approche 1 : lier des modèles existants entre eux **Possibilités et réflexions (2)**

- mais si l'objectif est une gestion à la fois tactique et stratégique (cycles cultureux successifs),
  - alors, une simulation intégrale des dynamiques présente un intérêt (enchaînement polyétique, de saison en saison);
  - objectif cohérent avec une gestion de la fumure (instrument de gestion des bioagresseurs en soi) ; des rotations ; etc. qui déterminent le rendement accessible;
  - pour cet objectif stratégique, c'est l'ensemble des modèles existants qui devrait être simplifié au maximum;
  - le point de jonction entre modèles : le peuplement végétal;
  - les performances attendues ("sorties") d'un modèle stratégique : performances du végétal dans/sur son environnement (plutôt qu'épidémies multiples)
- **question**: fonder la gestion sur la modélisation des pertes de récolte multi-bioagresseurs ?



# 5 - Approche 2 : construire et utiliser un canevas de caractérisation



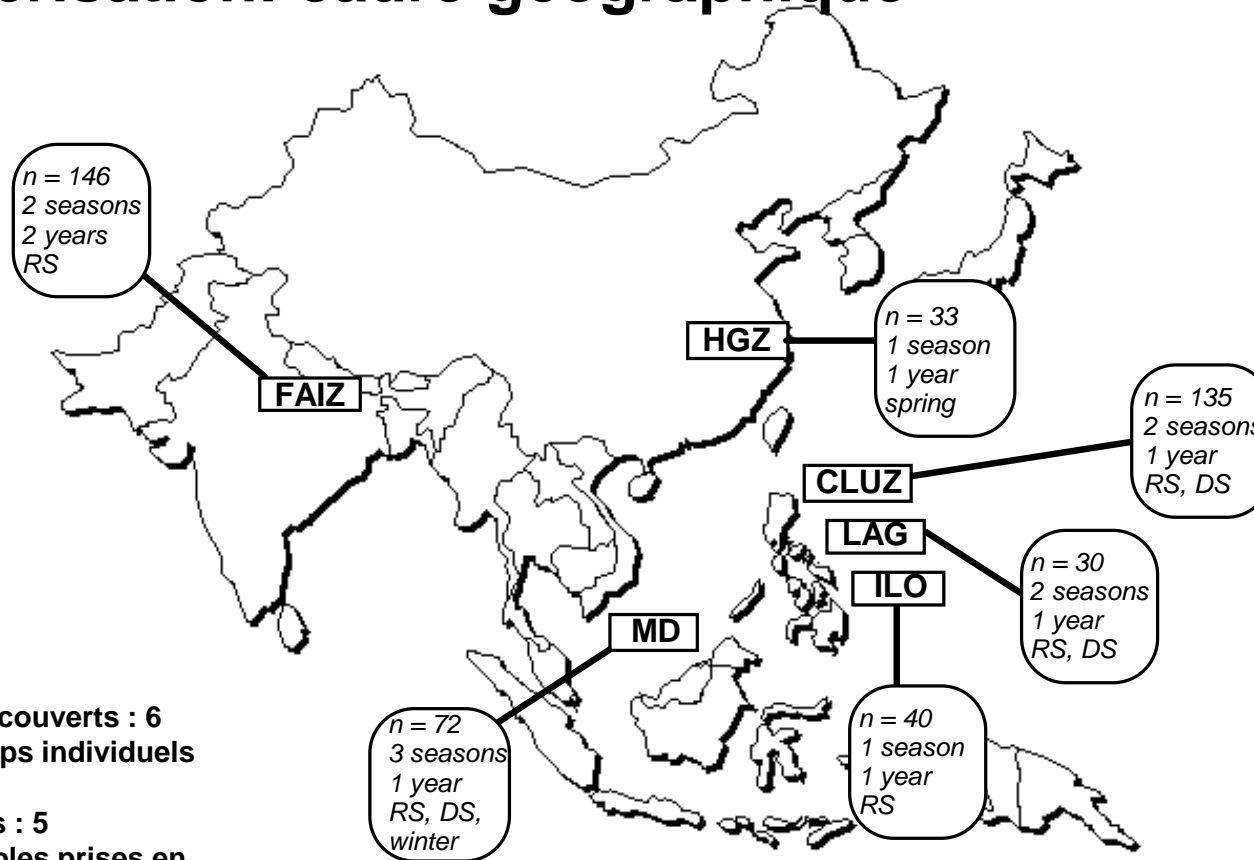
Savary, S., Willocquet, L., Elazegui, F.A., Teng, P.S., Du, P.V., Zhu, D., Tang, Q., Huang, S., Lin, X. Singh, H.M. & Srivastava, R.K., 2000. Rice pest constraints in tropical Asia: Characterization of injury profiles in relation to production situations. *Plant Disease* 84: 341-356.

Savary, S., Willocquet, L., Elazegui, F.A., Castilla, N. & Teng, P.S., 2000. Rice pest constraints in tropical Asia: Quantification of yield losses due to rice pests in a range of production situations. *Plant Disease* 84: 357-369.

Willocquet, L. Savary, S. Fernandez, L. Elazegui, F. & Teng, P.S. 2000. Development and evaluation of a multiple-pest, production situation specific model to simulate yield losses of rice in tropical Asia. *Ecological Modelling* 131: 133-159.

## 5 - Approche 2 : construire et utiliser un canevas de caractérisation

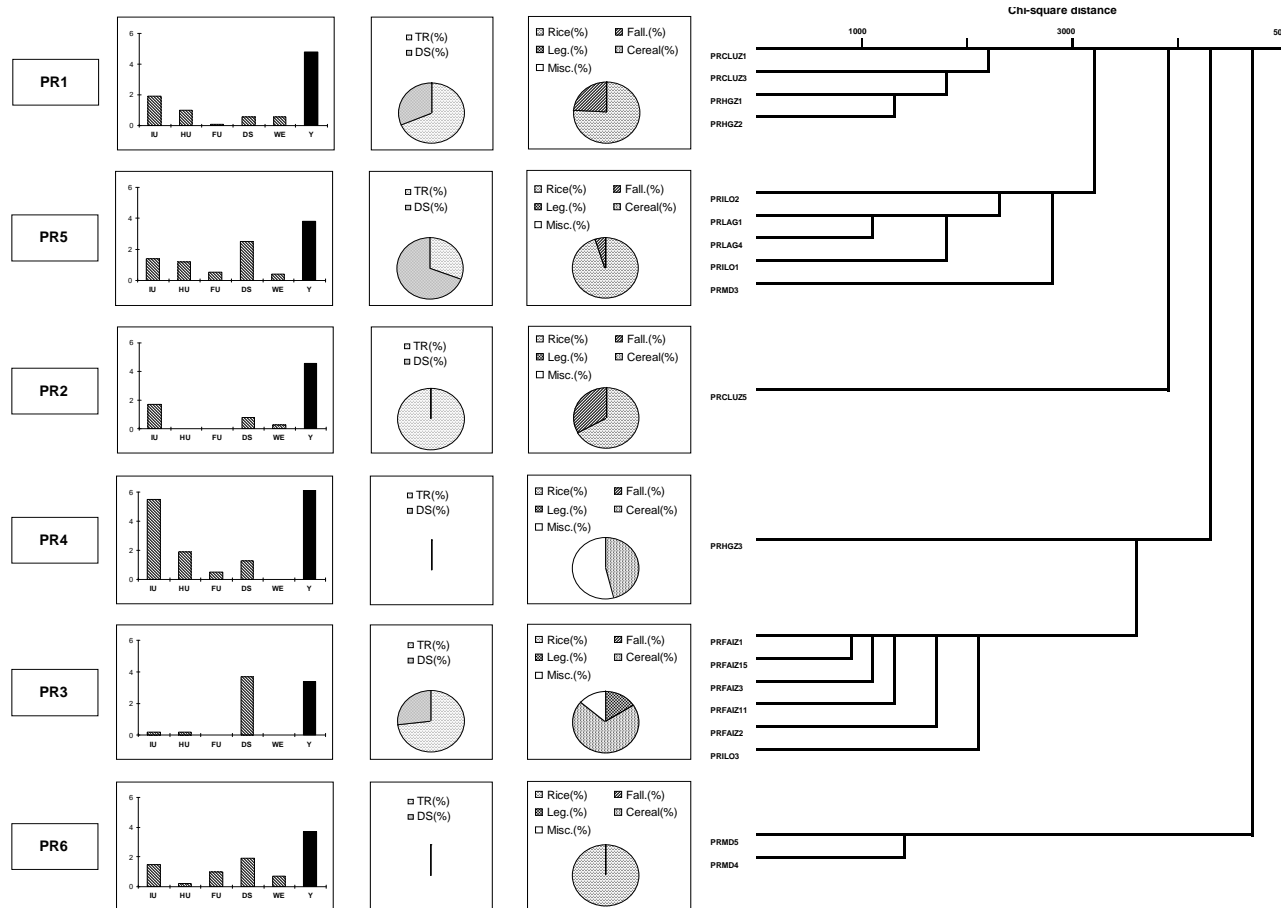
### Caractérisation: cadre géographique



- Nombre de sites couverts : 6
- Nombre de champs individuels considérés : 456
- Nombre d'années : 5
- Nombre de variables prises en compte par champ : 50 :
  - pratiques : 20;
  - bio-agresseurs : 25;
  - performances : 5

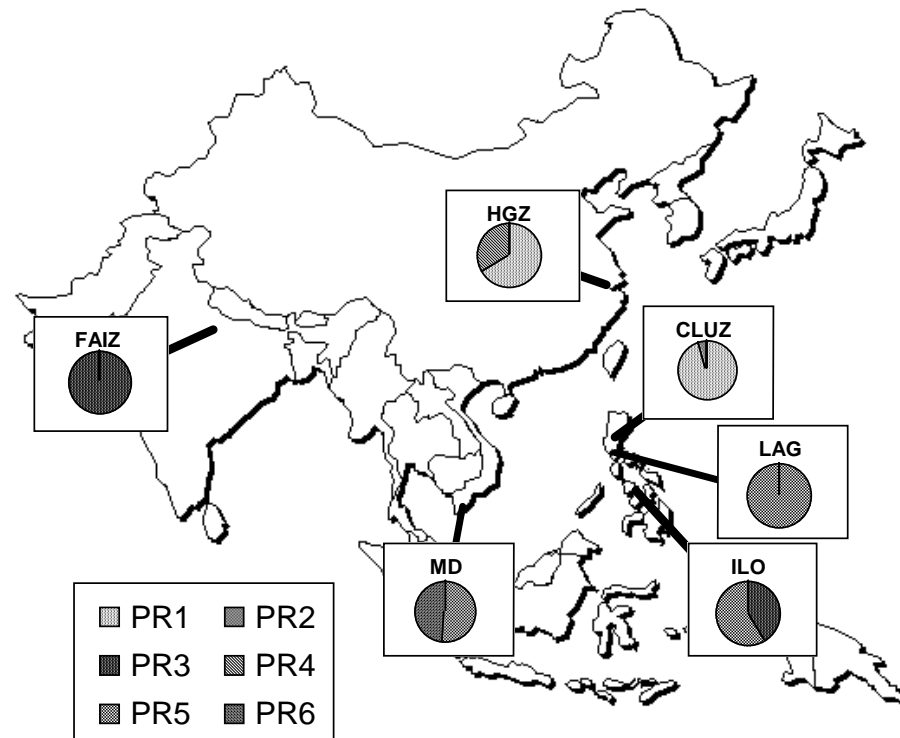
# 5 - Approche 2 : construire et utiliser un canevas de caractérisation Classification des situations de production

## Cluster Analysis of Cropping Practices



Source: Savary, S., Willocquet, L., Elazegui, F.A., Teng, P.S., Du, P.V., Zhu, D., Tang, Q., Huang, S., Lin, X. Singh, H.M. & Srivastava, R.K., 2000. Rice pest constraints in tropical Asia: Characterization of injury profiles in relation to production situations. Plant Disease 84: 341-356.

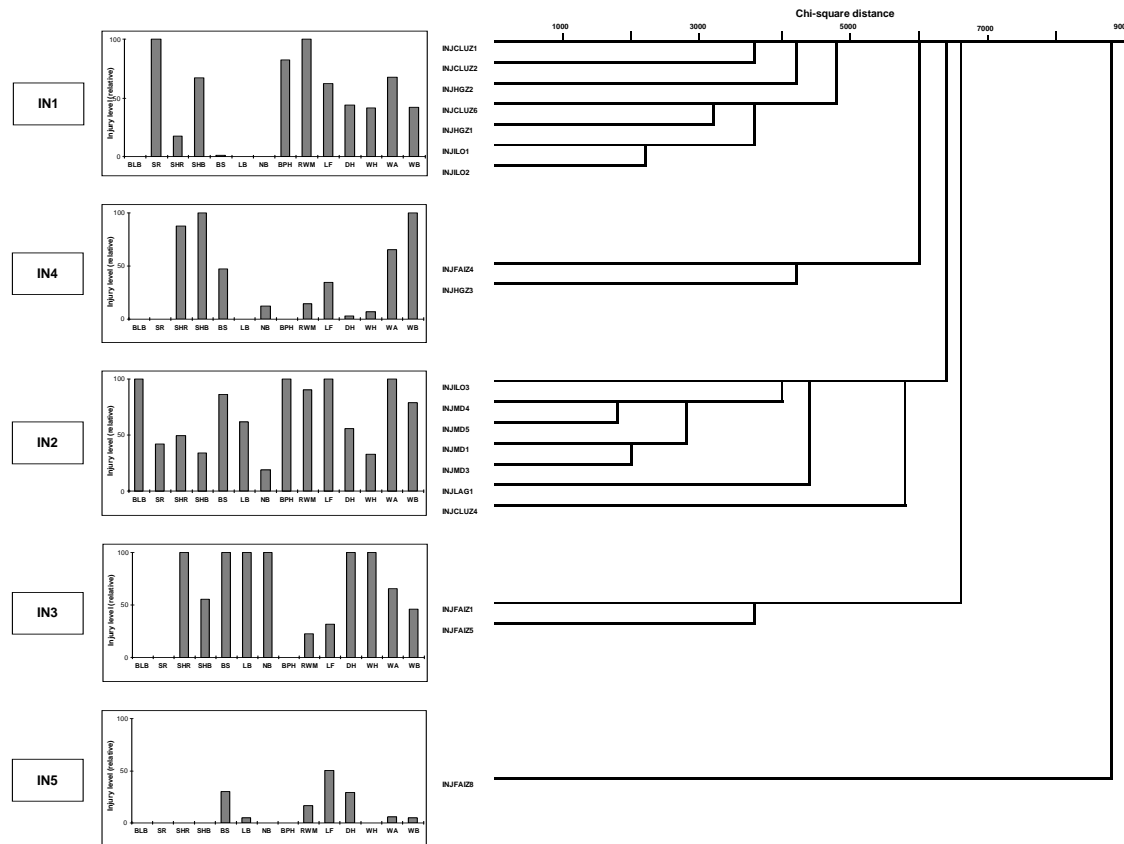
## 5 - Approche 2 : construire et utiliser un canevas de caractérisation Distribution géographique des situations de production



Source:  
Savary, S.,  
Willoquet, L.,  
Elazegui, F.A.,  
Teng, P.S., Du,  
P.V., Zhu, D.,  
Tang, Q.,  
Huang, S., Lin,  
X. Singh, H.M.  
& Srivastava,  
R.K., 2000. Rice  
pest  
constraints in  
tropical Asia:  
Characterization  
of injury  
profiles in  
relation to  
production  
situations.  
Plant Disease  
84: 341-356.

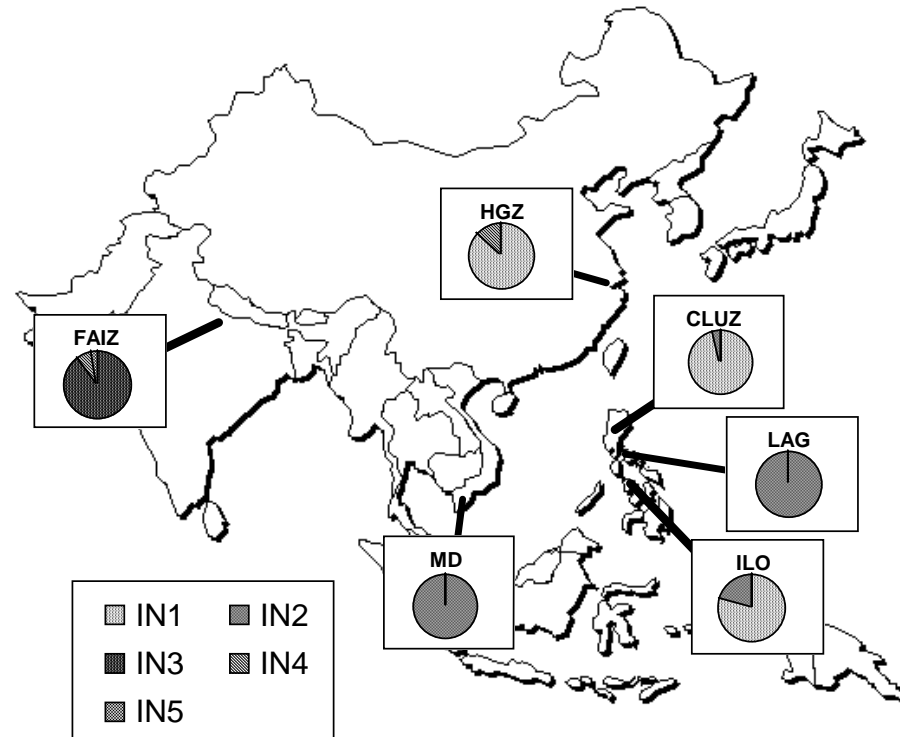
# 5 - Approche 2 : construire et utiliser un canevas de caractérisation Classification des profils de bioagresseurs

## Cluster Analysis of Injury Profiles



Source:  
Savary, S.,  
Willocoquet, L.,  
Elazegui, F.A.,  
Teng, P.S., Du,  
P.V., Zhu, D.,  
Tang, Q.,  
Huang, S., Lin,  
X. Singh, H.M.  
& Srivastava,  
R.K., 2000. Rice pest  
constraints in  
tropical Asia:  
Characterization  
of injury  
profiles in  
relation to  
production  
situations.  
Plant Disease  
84: 341-356.

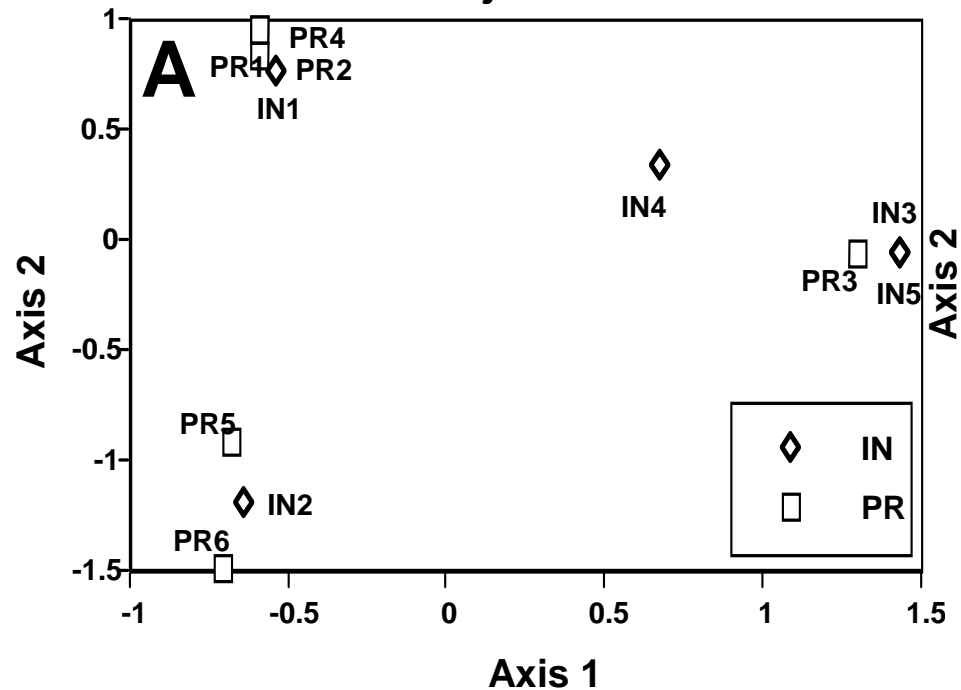
# 5 - Approche 2 : construire et utiliser un canevas de caractérisation Distribution géographique des profils de bio-agresseurs



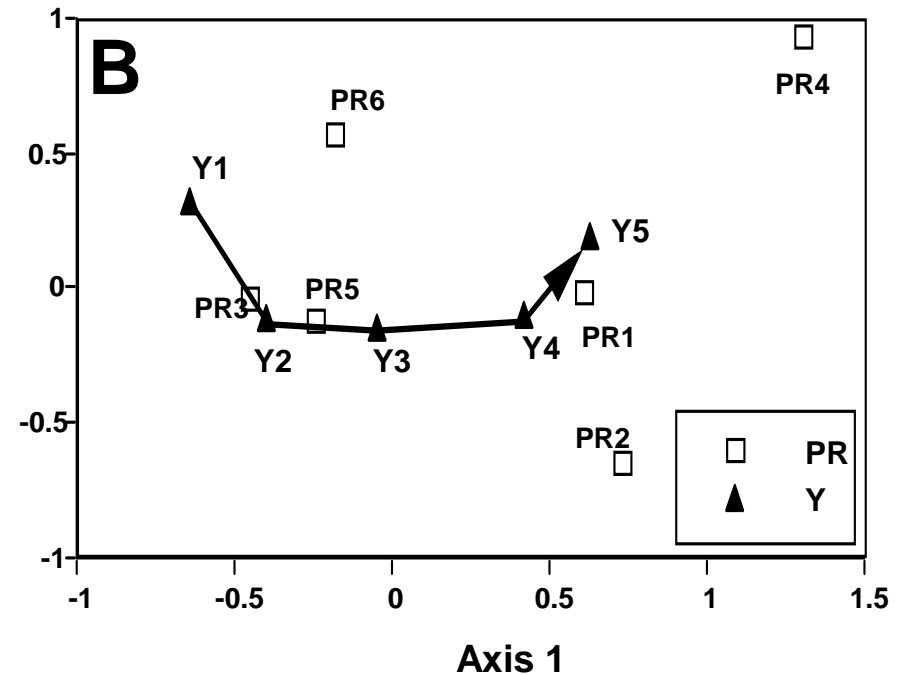
Source:  
Savary, S.,  
Willoquet, L.,  
Elazegui, F.A.,  
Teng, P.S., Du,  
P.V., Zhu, D.,  
Tang, Q.,  
Huang, S., Lin,  
X. Singh, H.M.  
& Srivastava,  
R.K., 2000. Rice pest  
constraints in  
tropical Asia:  
Characterization  
of injury  
profiles in  
relation to  
production  
situations.  
Plant Disease  
84: 341-356.

# 5 - Approche 2 : construire et utiliser un canevas de caractérisation Analyses factorielles

**Correspondence Analysis :  
Patterns of Cropping Practices and  
Injuries**



**Correspondence Analysis :  
Patterns of Cropping Practices and  
Actual Yield**



S. Savary. Seminaire épidémiologie

Source:  
Savary, S., Willocquet, L., Elazegui, F.A., Teng, P.S., Du, P.V., Zhu, D., Tang, Q., Huang, S., Lin, X. Singh, H.M. & Srivastava, R.K., 2000. Rice pest constraints in tropical Asia: Characterization of injury profiles in relation to production situations. *Plant Disease* 84: 341-356.

**5 - Approche 2 :**  
**construire et utiliser un canevas de caractérisation**  
**Pertes de récoltes estimées *expérimentalement***  
**par combinaisons (profils de dégâts) x (situations de production)**

Rendements accessibles, Pertes de rendement absolues et Pertes de rendement relatives	Principales combinaisons (> 70%) de profils de bio-agresseurs et de situations de production			
	IN1 x PR1	IN2 x PR5	IN2 x PR6	IN3 x PR3
Ya	5.9	4.9	5.6	4.7
YL	2.4 ± 0.3	1.7 ± 0.2	1.9 ± 0.2	1.2 ± 0.2
YL (%)	41.2	35.4	33.5	25.5

Source:  
 Savary, S., Willocquet, L., Elazegui, F.A., Castilla, N. & Teng, P.S., 2000. Rice pest constraints in tropical Asia: Quantification of yield losses due to rice pests in a range of production situations. Plant Disease 84: 357-369.



## 6 - Approche 3 : analyse empirique fondée sur les outils disponibles

- quels sont les principaux<sup>(1)</sup> profils de bioagresseurs par situation de production?
- quels sont les outils<sup>(2)</sup> envisageables pour contrôler ces bioagresseurs?
- priorités pour la recherche agronomique: quels sont les instruments de gestion qui font défaut vis-à-vis des bioagresseurs les plus importants selon les situations de production?
- exemple du riz en Asie tropicale

(1) principaux : en termes de pertes de récoltes

(2) outils : **CEM**: mode d'établissement peuplement; **FERT**: fumure; **FUN**: fongicides; **BIOC**: lutte biologique; **GE**: génie génétique; **HPR**: résistance variétale; **INS**: insecticides; **WMG**: gestion de l'eau; **HERB**: herbicides; **SHQ**: qualité des semences

## 6 - Approche 3 : analyse empirique fondée sur les outils disponibles riz en Asie tropicale : principaux profils de bioagresseurs par situations de production

Production Situations	Key components of the corresponding injury profiles	Importance of injuries
PR1 PR2 PR4	SR SHB PH WH WA WB	medium very high low high medium medium
PR3	SHR SHB BS LB NB DH WH WA WB	high medium very high low low high medium medium high
PR5 PR6	BLB SHB LB PH WH WA WB	low high medium low medium very high very high

**Table 3.**  
**Current importance of injuries, by production situations**  
SR: stem rot; SHB: sheath blight; PH: plant hoppers; WH: white heads; WA: weed infestation above the rice crop canopy; WB: weed infestation below canopy; SHR: sheath rot; BS: brown spot; LB: leaf blast; NB: neck blast; DH: dead hearts; BLB: bacterial leaf blast.

Source :  
S. Savary, L. Willocquet, F.A. Elazegui, P.S. Teng, N. Castilla, 1999. Report to the Board of Trustees of the International Rice Research Institute (unpubl.)

## 6 - Approche 3 : analyse empirique fondée sur les outils disponibles riz en Asie tropicale : instruments actuels de gestion par situations de production

Production Situations	Key components of the corresponding injury profiles	Available IPM tools
PR1 PR2 PR4	SR SHB PH WH WA WB	- CEM, FERT, FUN, BIOC, GE HPR, BIOC INS, BIOC, GE WMG, CEM, FERT, SHQ, HERB WMG, CEM, FERT, SHQ, HERB
PR3	SHR SHB BS LB NB DH WH WA WB	SHQ CEM, BIOC, GE, (FERT) , (FUN) HPR HPR, (FUN), (FERT) HPR, (FUN), (FERT) BIOC, GE, (INS) BIOC, GE, (INS) CEM, SHQ, (HERB), (FERT), (WMG) CEM, SHQ, (HERB), (FERT), (WMG)
PR5 PR6	BLB SHB LB PH WH WA WB	HPR, FERT CEM, FUN, FERT, BIOC, GE HPR, FUN, FERT BIOC, HPR INS, BIOC, GE CEM, HERB, FERT, (WMG) CEM, HERB, FERT, (WMG)

Table 4.  
Integrated Pest Management tools available, by production situations

**CEM:** crop establishment method;  
**FERT:** fertilizer management;  
**FUN:** fungicides;  
**BIOC:** biological control and natural enemies;  
**GE:** genetic engineering;  
**HPR:** host plant resistance;  
**INS:** insecticides;  
**WMG:** water management;  
**HERB:** herbicides;  
**SHQ:** improvement of seed health and quality.

# 6 - Approche 3 : analyse empirique fondée sur les outils disponibles riz en Asie tropicale : priorités pour la recherche régionale

Production Situations	Key components of the corresponding injury profiles	Priority level
PR1 PR2 PR4	SHB WH	1 2
PR3	BS SHR DH	1 2 2
PR5 PR6	SHB	1
Region-wide priorities	WA WB BLB LB PH	1 1 2 2 2

**Table 5. Suggested research priorities.**

Source :  
S. Savary, L. Willocquet, F.A. Elazegui, P.S. Teng, N. Castilla,  
1999. Report to the Board of Trustees of the International Rice  
Research Institute (unpubl.)

# 7 - Approche 4 : distiller le savoir existant pour l'application : EPIPARE

## Objectifs d'EPIPARE

- Général : fournir aux producteurs des recommandations pour gérer les bioagresseurs des cultures de blé, afin :
  - d'économiser des traitements
  - d'économiser de l'argent
- Toutes les informations, et toutes les recommandations sont spécifiques d'un champ donné.
- Les cultures cibles sont le blé d'hiver et de printemps.
- Spécifiques : bioagresseurs cibles :
  - *Puccinia striiformis*
  - *Puccinia recondita*
  - *Erysiphe graminis*
  - *Septoria tritici*
  - *Septoria nodorum*
  - *Metopolophium dirhodum*
  - *Sitobion avenae*

### Source :

Zadoks, J.C., 1981 EPIPARE: a disease and pest management system for winter wheat developed in the Netherlands. EPPO Bulletin 11: 365-369.

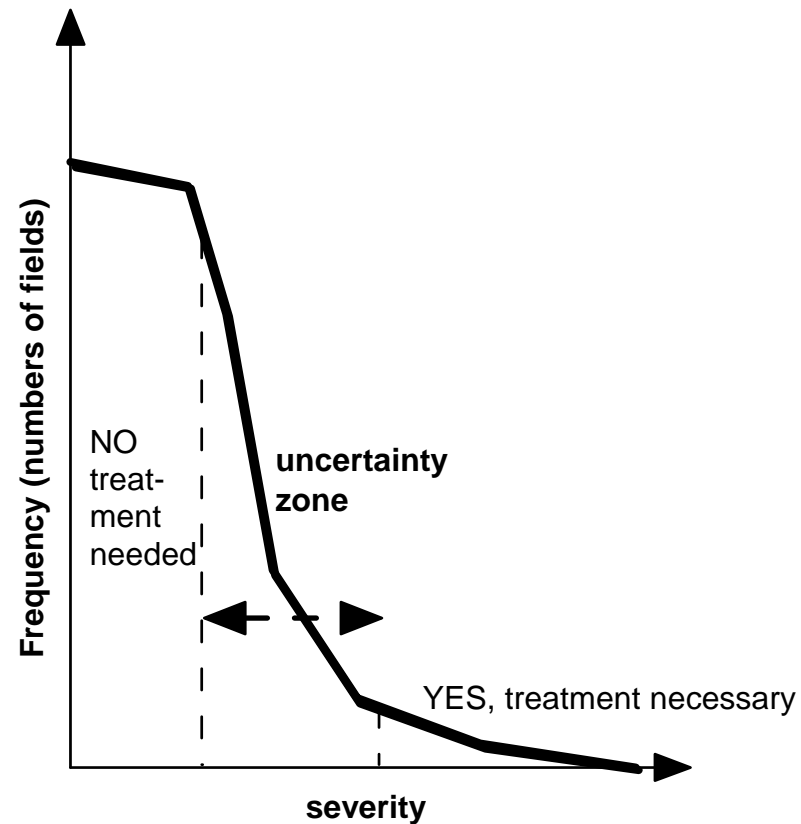
Zadoks, J.C., 1989 EPIPARE, a computer-based decision support system for pest and disease control in wheat: its development and implementation in Europe. In: Leonard, K.J. & Fry, W.E. (Eds.) Plant Disease Epidemiology. Vol 2, pp. 3-29. Mc Graw-Hill, New York.

Zadoks, J.C. Rijsdijk, F.H. Rabbinge, R., 1984 EPIPARE : a systems approach to supervised control of pests and diseases of wheat in the Netherlands. pp. 344-351, In: Conway, R. (Ed.) Pest and Pathogen Control: Strategies, Tactical, and Policy Models. International Series on Applied Systems Analysis. John Wiley & Sons, New York.

## 7 - Approche 4 :

distiller le savoir existant pour l'application : EIPRE

**Philosophie : réduire l'incertitude des décisions tactiques**



S. Savary. Séminaire épidémiologie

**En début de cycle**, dans la majorité des cas, quelque soit le bioagresseur, il est évident qu'un traitement n'est pas (encore) nécessaire. Mais dans quelques cas, il est également évident qu'un traitement est nécessaire.

EIPRE ne s'intéresse pas aux évidences. C'est entre ces deux extrêmes de la distribution de fréquence que se situe la zone d'incertitude qui est la région qui intéresse EIPRE, où une vraie décision est nécessaire.

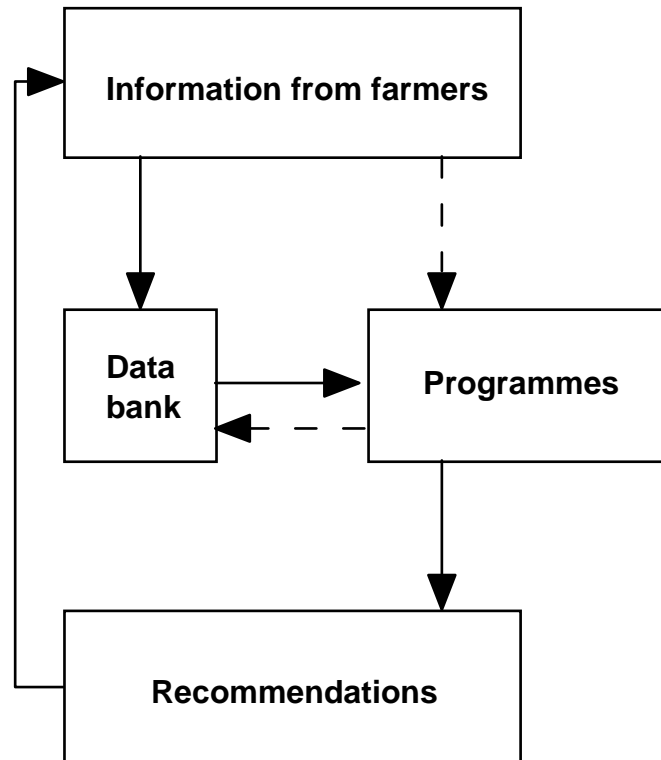
Une zone d'incertitude très large se traduit par des traitements qui vont être appliqués (les producteurs évitent généralement un risque, réel ou perçu). Plus cette zone est étroite, et plus il sera facile aux producteurs de ne traiter que si ce traitement est rentable.

Source:

Zadoks, J.C., 1981 EIPRE: a disease and pest management system for winter wheat developed in the Netherlands. EPPO Bulletin 11: 365-369.

# 7 - Approche 4 : distiller le savoir existant pour l'application : EIPPRE

## Structure générale



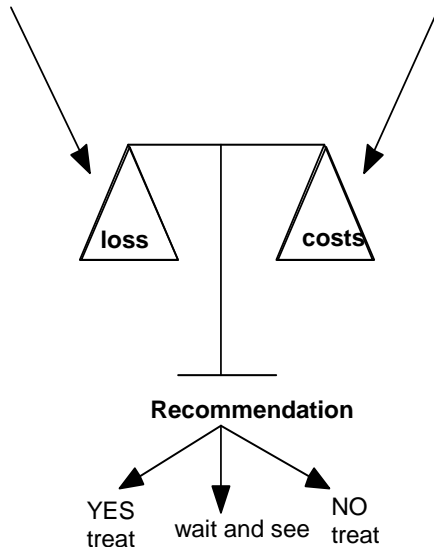
- 1- les producteurs fournissent des données d'incidence;
- 2- ces incidences sont converties en sévérités à l'aide de fonctions Incidence/Sévérité;
- 3- ces sévérités présentes estimées sont converties en sévérités futures (projections);
- 4- des pertes de récolte (%) sont calculées à partir de ces sévérités futures prédites, à l'aide de fonctions de dommage (Sévérité/Dommage);
- 5- le dommage relatif prédit (%), combiné avec le rendement ciblé (accessible), permet de calculer le dommage absolu prédit (kg);
- 6- le dommage absolu prédit (kg), est converti en termes monétaires (dommage économique prévu);
- 7- le coût d'un traitement est calculé;
- 8- le coût du traitement et le dommage économique prévu sont comparés;
- 9- lorsque le dommage économique prévu excède le coût du traitement la recommandation de traiter est formulée.

# 7 - Approche 4 : distiller le savoir existant pour l'application : EPIPARE Trois (non pas deux) recommandations

Procedure

- assessment of present incidence
- calculation of present severity
- calculation of future severity
- calculation of future damage
- calculation of future loss

Calculation of treatment cost

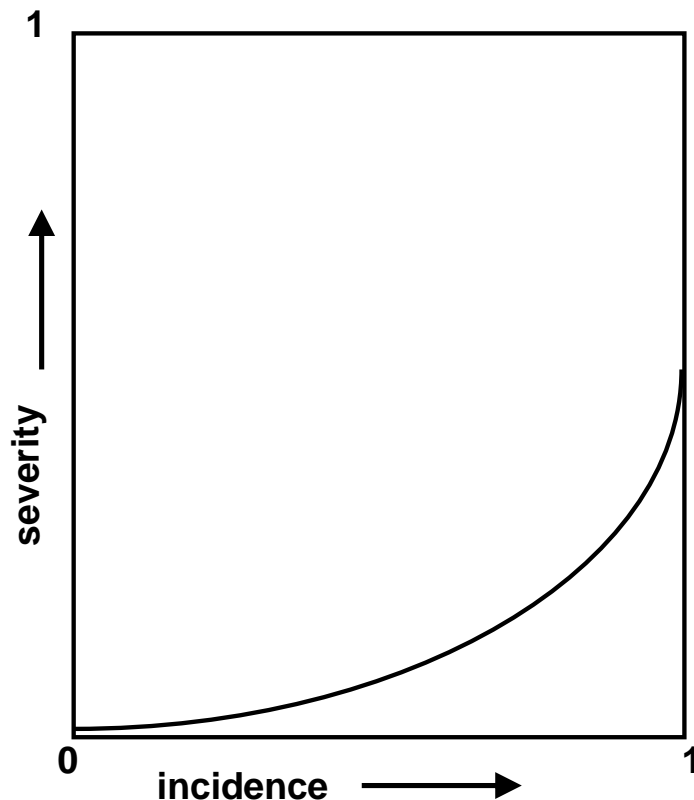


EPIPARE émet donc trois recommandations :

- la recommandation *de traiter* est donnée si les pertes financières prévues excèdent le coût du traitement;
- la recommandation *de ne pas traiter* est donnée en l'absence de risque financier
- la recommandation *d'attendre et de vérifier* est donnée sert à réduire la zone d'incertitude. Un délai est calculé, au terme duquel le producteur doit renvoyer des informations (incidences).



## 7 - Approche 4 : distiller le savoir existant pour l'application : EPIPPE détails des étapes (1)



1- la relation Incidence-Sévérité peut être généralisée; elle devient indéterminée lorsque l'incidence approche 1, mais cette partie supérieure de la courbe est sans intérêt pour EPIPPE.

Seules les incidences faibles, donc les sévérités faibles, juste suffisantes pour représenter un risque économique, mais encore assez basses pour pouvoir être traitées, présentent un intérêt.

Dans cette partie initiale de la courbe, la relation Incidence-Sévérité est approximativement linéaire. Il est ainsi facile d'estimer la sévérité.

# 7 - Approche 4 : distiller le savoir existant pour l'application : EIPPRE détails des étapes (2)

$$dx_t / dt = R_c \cdot (x_{t-p} - x_{t-i-p}) \cdot (1-x_t)$$

$$dx_t / dt = r \cdot x_t \cdot (1 - x_t)$$

$$dx_t / dt = r \cdot x_t \text{ or } x_t = x_0 \cdot e^{rt}$$

$$x_t = x_0 \cdot RDEF1 \cdot e^{r \cdot (t - RDEF2)}$$

$$r = f(\text{DIS, DC, VAR, N, SOIL, CCC})$$

DIS : considered bio-aggressor

DC : crop development stage

VAR : considered cultivar

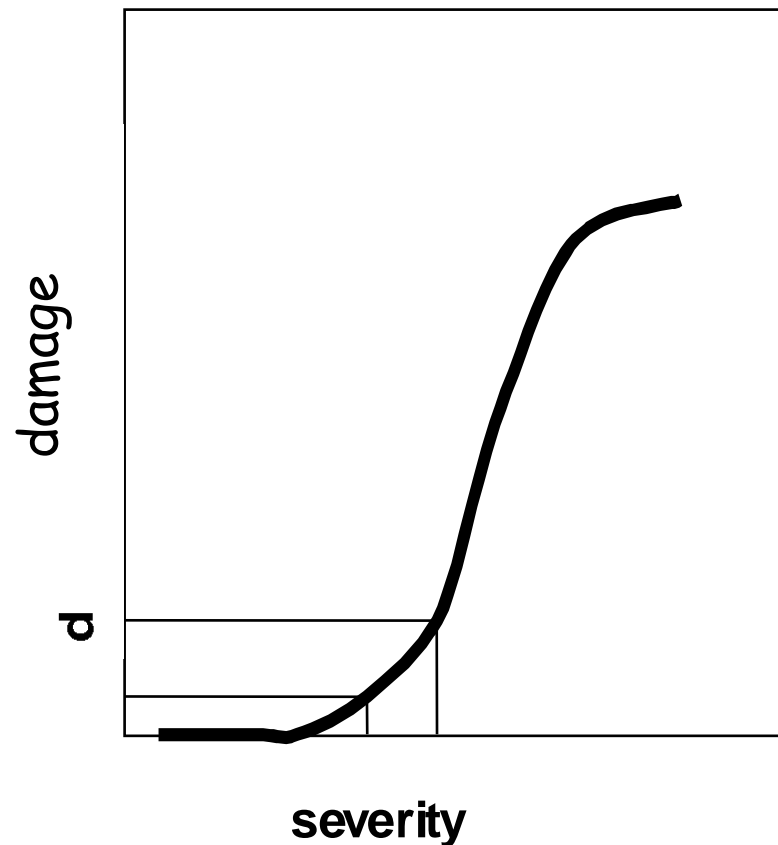
N : nitrogen supply

SOIL : soil type

CCC : use of growth regulator

- (1) beaucoup d'équations existent pour estimer une sévérité future. L'équation (1) paraît précise, mais est bien trop compliquée, et est écartée.
- (2) L'équation (2) donne une image générale de l'épidémie entière, mais n'est pas très précise. EIPPRE ne s'intéresse, cependant pas à une épidémie entière, et surtout pas aux niveaux élevés de sévérité; l'équation (2) est écartée également.
- (3) L'équation (3), elle, est très simple, et raisonnablement fiable, à court terme et en début d'épidémie (là où EIPPRE peut être utile).
- (4) Les équations véritablement utilisées dans EIPPRE (4) sont un peu plus complexes, avec:  $x$  : sévérité et  $t$ , date de pronostic. Deux facteurs de réduction sont ajoutés, représentant les pesticides qui ralentissent l'épidémie (RDEF1), ou qui éliminent tout ou partie du bioagresseurs (RDEF2).  $t$  est une fonction du stade de développement, et  $r$  est une fonction du bioagresseur, de la variété, du type de sol, et de l'usage de régulateurs de croissance (équation 5).

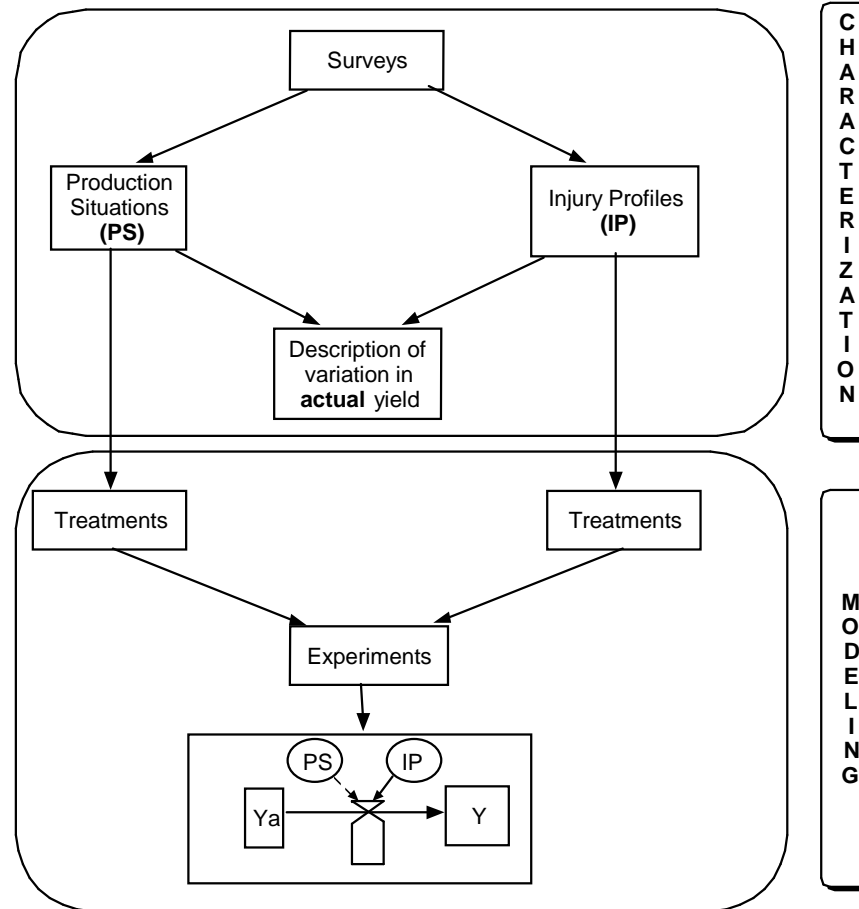
## 7 - Approche 4 : distiller le savoir existant pour l'application : EIPPRE détails des étapes (2)



- 3- des fonctions de dommage existent pour beaucoup de bioagresseurs du blé. Mais, en pratique, seule une petite fraction de ces courbes est utile dans EIPPRE: la partie correspondant à la zone d'incertitude. Dans cette zone, la relation est quasiment linéaire.
- 4- le dommage absolu (kg) est estimé à partir du dommage relatif (%) et le rendement accessible (kg).
- 5- les prix du blés sont connus et les pertes économiques peuvent être chiffrées.
- 6- les coûts des traitements sont faciles à calculer, selon les produits, leur prix, le mode d'application, et avec les estimations de dégâts causés par les roues des tracteurs dans les champs.

# 8 - Approche 5 : se projeter vers des futurs possibles

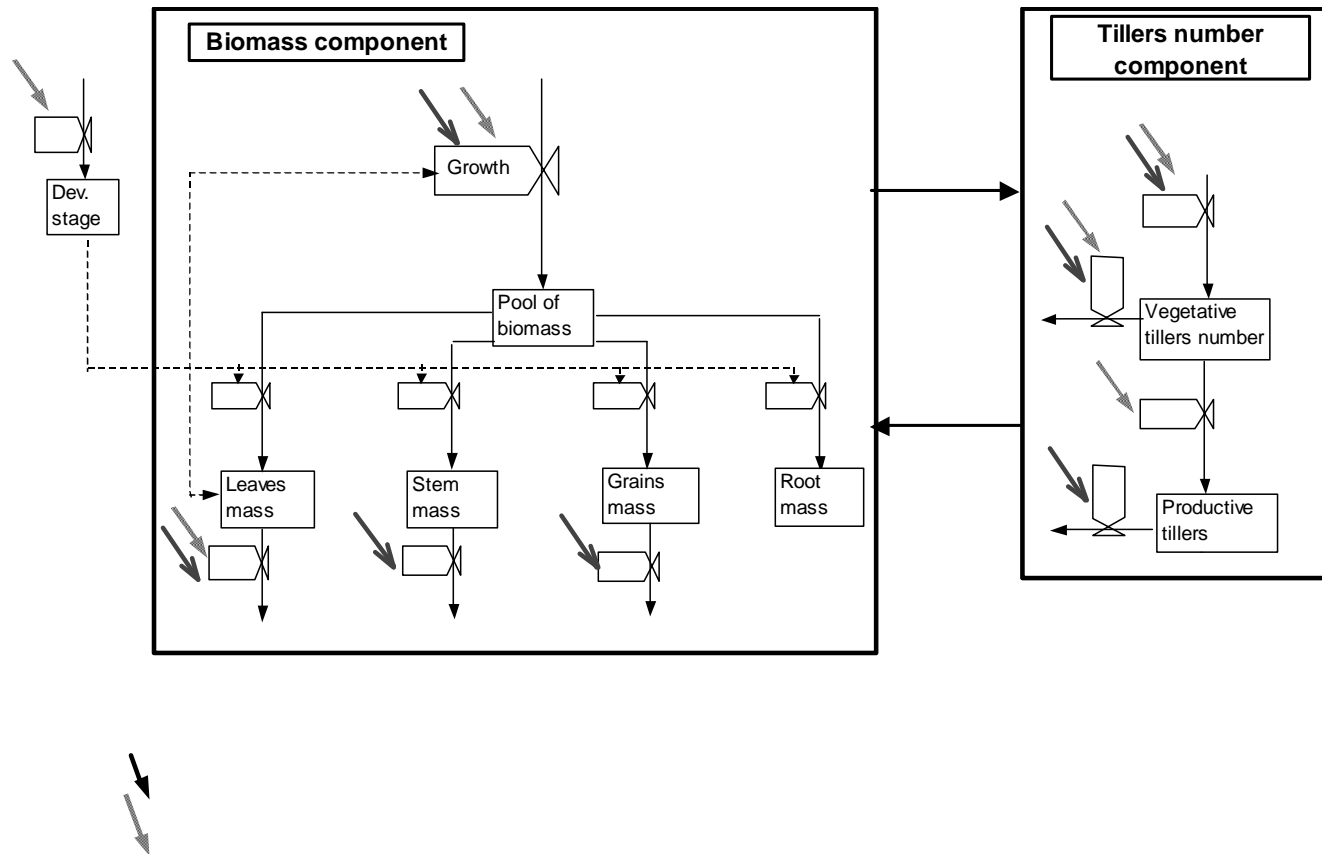
## Relations entre caractérisation et modélisation



Source:  
 Willocquet, L. Savary, S. Fernandez, L. Elazegui, F. & Teng, P.S. 2000.  
 Development and evaluation of a multiple-pest, production situation specific model to simulate yield losses of rice in tropical Asia.  
 Ecological Modelling 131: 133-159.

Fig. I.5. Relationships between the characterization of variation in actual yield from surveys in farmers' fields (according to production situation and injury profile) and the framework for yield loss simulation

## 8 - Approche 5 : se projeter vers des futurs possibles structure de RICEPEST



S. Savary. Seminaire épidémiologie

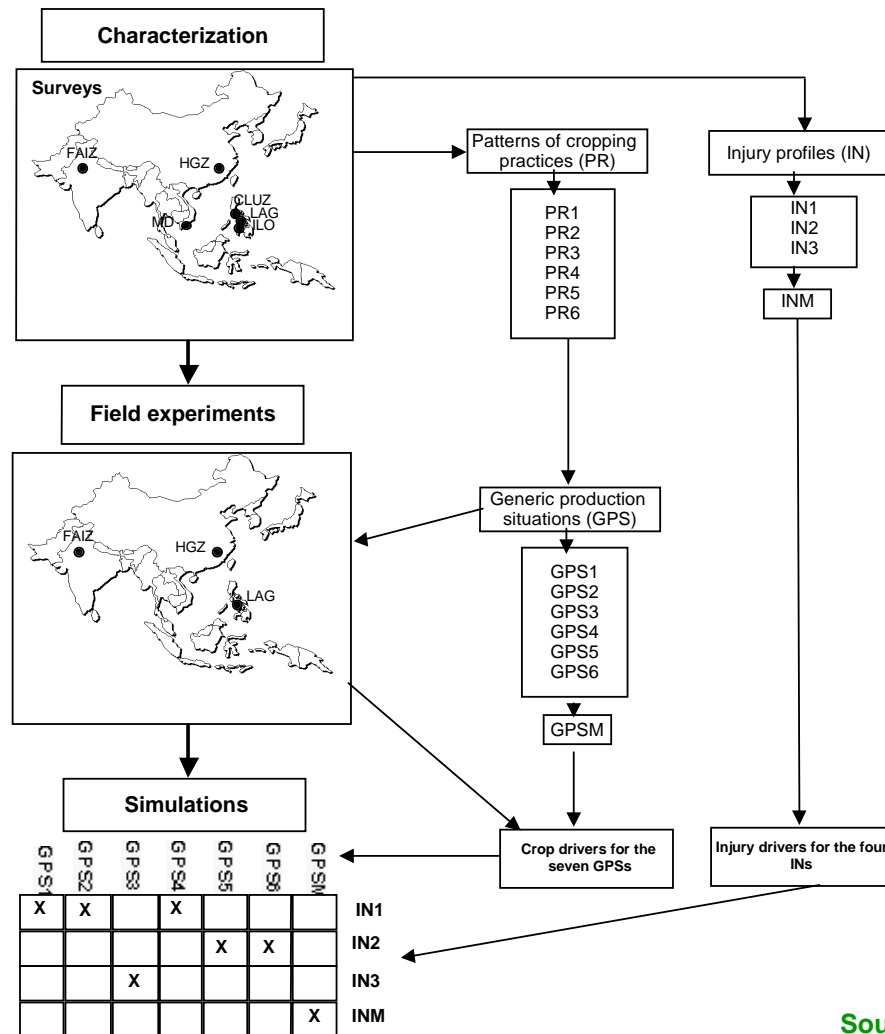
Source:

Willoquet, L. Savary, S. Fernandez, L. Elazegui, F. & Teng, P.S. 2000. Development and evaluation of a multiple-pest, production situation specific model to simulate yield losses of rice in tropical Asia. *Ecological Modelling* 131: 133-159.

Willoquet, L. Savary, S. Fernandez, L. Elazegui, F.A., Castilla, N., Zhu, D., Tang, Q., Huang, S., Lin, X., Singh, H.M., Srivastava, R.K., 2002. Structure and validation of RICEPEST, a production situation-driven, crop growth model simulating rice yield response to multiple pest injuries for tropical Asia. *Ecological Modelling* 153: 247-268.

Willoquet, L., Elazegui, F. A., Castilla, N., Fernandez, L., Fischer, K. S., Peng, S., Teng, P. S., Srivastava, R. K., Singh, H. M., Zhu, D., and Savary, S., 2004. Research priorities for rice disease and pest management in tropical Asia: a simulation analysis of yield losses and management efficiencies. *Phytopathology* 94(7):672-682.

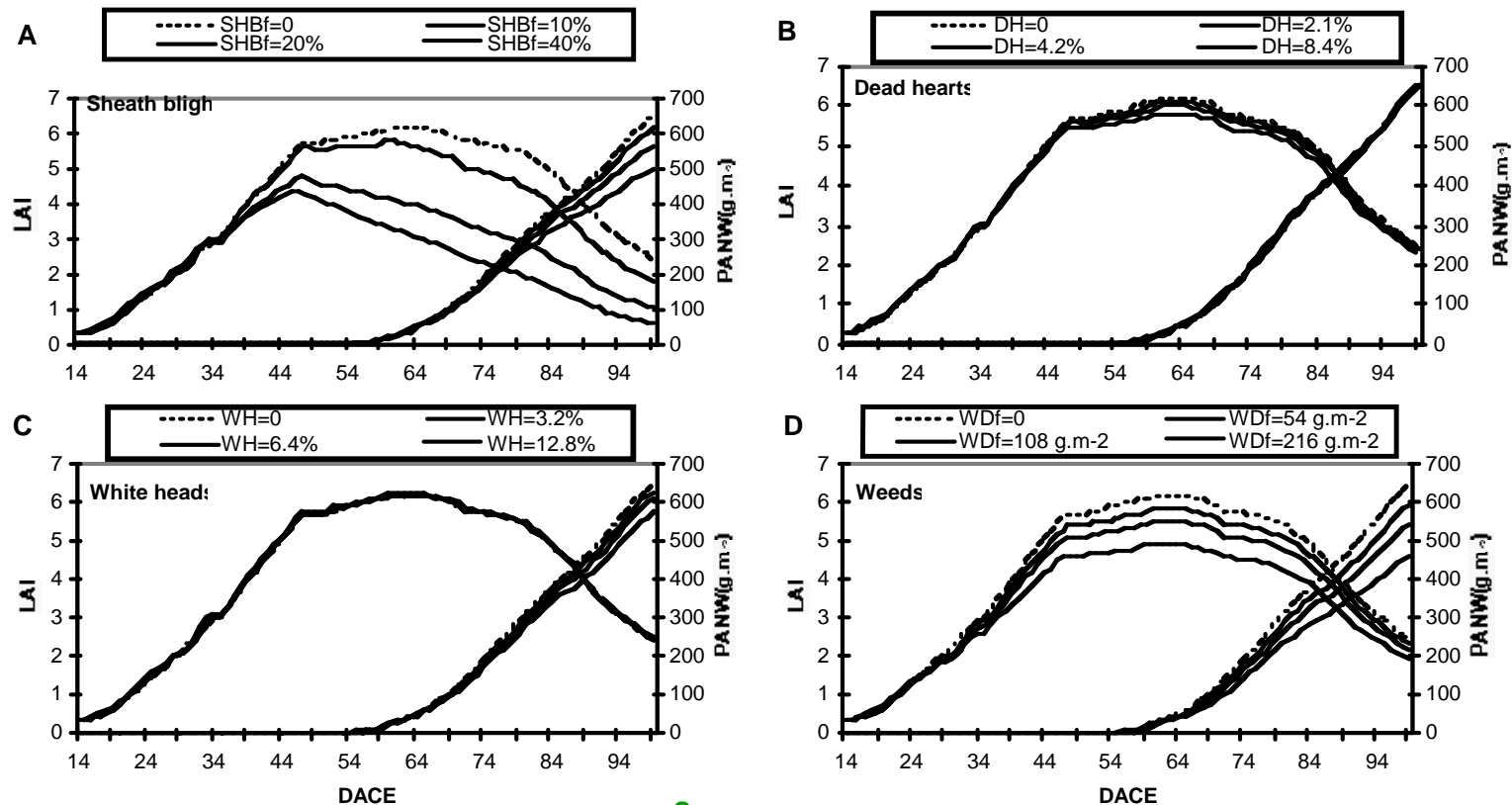
# 8 - Approche 5 : se projeter vers des futurs possibles Définition de scénarios de modélisation



S. Savary. Seminaire épidémiologie

Source:  
Willoquet, L. Savary, S. Fernandez, L. Elazegui, F. & Teng, P.S. 2000.  
Development and evaluation of a multiple-pest, production situation  
specific model to simulate yield losses of rice in tropical Asia. Ecological  
Modelling 131: 133-159.

# 8 - Approche 5 : se projeter vers des futurs possibles analyses de sensibilité avec différents niveaux de dégâts



Source:

Willocoquet, L. Savary, S. Fernandez, L. Elazegui, F.A., Castilla, N., Zhu, D., Tang, Q., Huang, S., Lin, X., Singh, H.M., Srivastava, R.K., 2002. Structure and validation of RICEPEST, a production situation-driven, crop growth model simulating rice yield response to multiple pest injuries for tropical Asia. *Ecological Modelling* 153: 247-268.

## 8 - Approche 5 : se projeter vers des futurs possibles dommages simulés : conclusions écorégionales

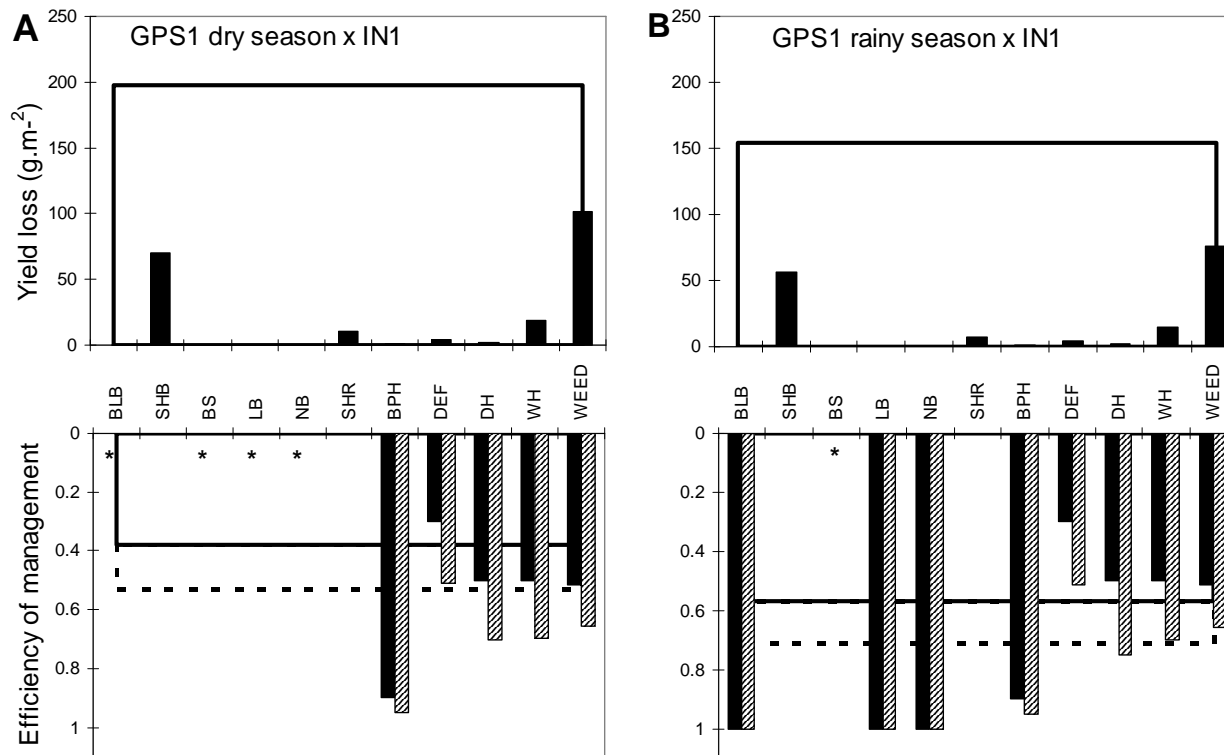
- Les pertes de récolte régionales simulées varient de 22 à 43%.
- En moyenne, 36.5%, soit 202 10<sup>6</sup> tonnes de grain sont perdues chaque année à cause des ravageurs du riz (adventices, insectes, pathogènes) sur les 87 10<sup>6</sup> ha de riz irrigué/inondé d'Asie tropicale.
- Les ravageurs du riz se classent ainsi par ordre d'importance : les adventices (15.5%), le flétrissement des gaines (8.3%), l'helminthosporiose (5.7%), la pourriture des gaines (3.7%), et les foreurs des tiges ("white heads", 3.2%).
- Les pertes causées par le flétrissement bactérien, la pyriculariose, la cicadelle brune et les insectes défoliateurs sont inférieures, régionalement, à 1%.

### Source:

Willocoquet, L., Elazegui, F. A., Castilla, N., Fernandez, L., Fischer, K. S., Peng, S., Teng, P. S., Srivastava, R. K., Singh, H. M., Zhu, D., and Savary, S., 2004. Research priorities for rice disease and pest management in tropical Asia: a simulation analysis of yield losses and management efficiencies. *Phytopathology* 94(7):672-682.



# 8 - Approche 5 : se projeter vers des futurs possibles dommages simulés et efficacité des outils de gestion en termes de gains de récolte



Source:

Willcoquet, L., Elazegui, F. A., Castilla, N., Fernandez, L., Fischer, K. S., Peng, S., Teng, P. S., Srivastava, R. K., Singh, H. M., Zhu, D., and Savary, S., 2004. Research priorities for rice disease and pest management in tropical Asia: a simulation analysis of yield losses and management efficiencies. *Phytopathology* 94(7):672-682.

S. Savary. Seminaire épidémiologie

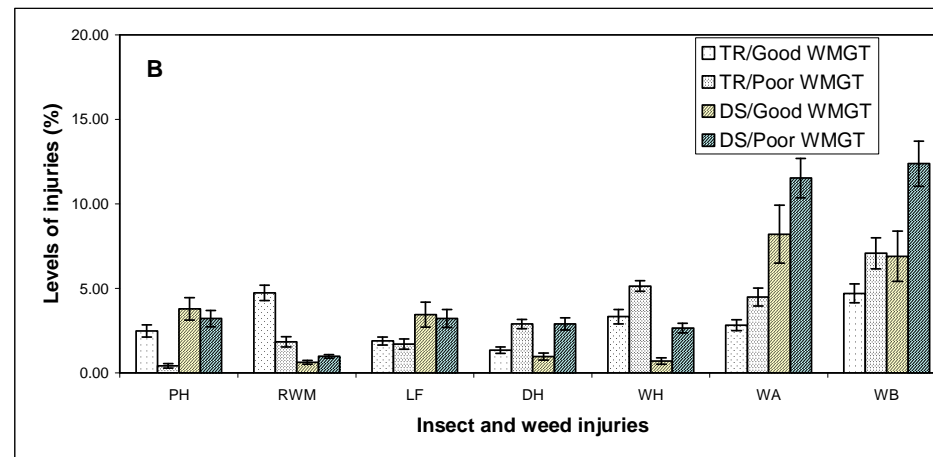
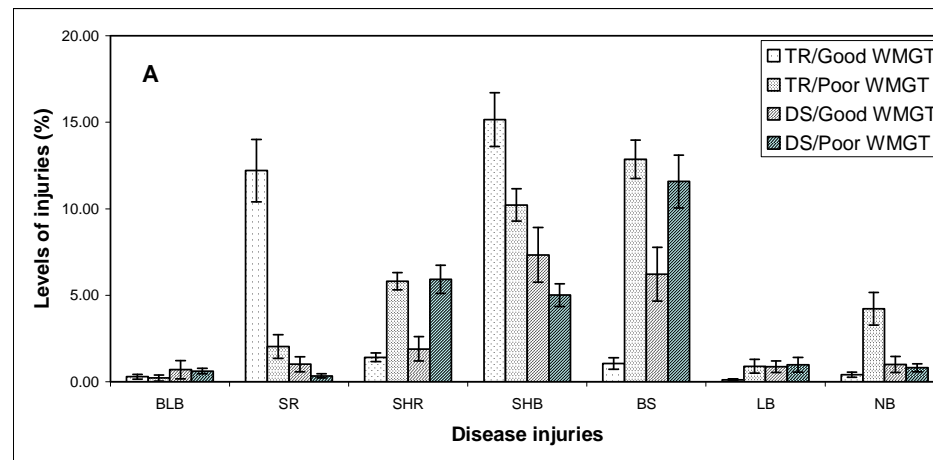
Figure 3.

Simulated yield losses and efficiency of rice pest management methods in terms of relative yield gains for the generic production situation GPS1, affected by the injury profile IN1, in the dry season (A) and in the rainy season (B). In the upper panels, each bar represents yield losses caused by individual injuries, and the upper bound of the frame represents yield losses caused by the entire injury profile. In the lower panels, solid bars represent the efficiency of pest management methods for each individual injury under the hypothesis of low reduction in injury levels, and shaded bars represent the efficiency of management for each individual injury under the hypothesis of high reduction in injury levels. The plain and dotted lines that bound the frames represent the efficiency of management for the entire injury profile under the hypotheses of low and high reduction in injury levels, respectively. Asterisks are indicated when the efficiency of pest management method could not be estimated due to the absence of a particular pest species from the injury profile.

BLB: bacterial leaf blight; SHB: sheath blight; BS: brown spot; LB: leaf blast; NB: neck blast; SHR: sheath rot; BPH: brown plant-hopper; DEF: defoliators; DH: dead heart; WH: white head; WEED: weeds.

# 9 – Forces de changement de l'agriculture dont les effets sont massifs, immédiats, sur l'agriculture et les bioagresseurs

- parmi ces forces de changement figurent en premier plan la limitation des ressources en eau et en main d'œuvre agricoles.
- La plupart des agrosystèmes du monde ont été, sont, ou seront influencés par ces contraintes;
- d'où de nouvelles pratiques de production;
- illustrées ici pour le riz par les modes de mise en place des cultures et la gestion de l'eau.
- Ces pratiques agricoles ont des effets majeurs sur les profils de bioagresseurs.

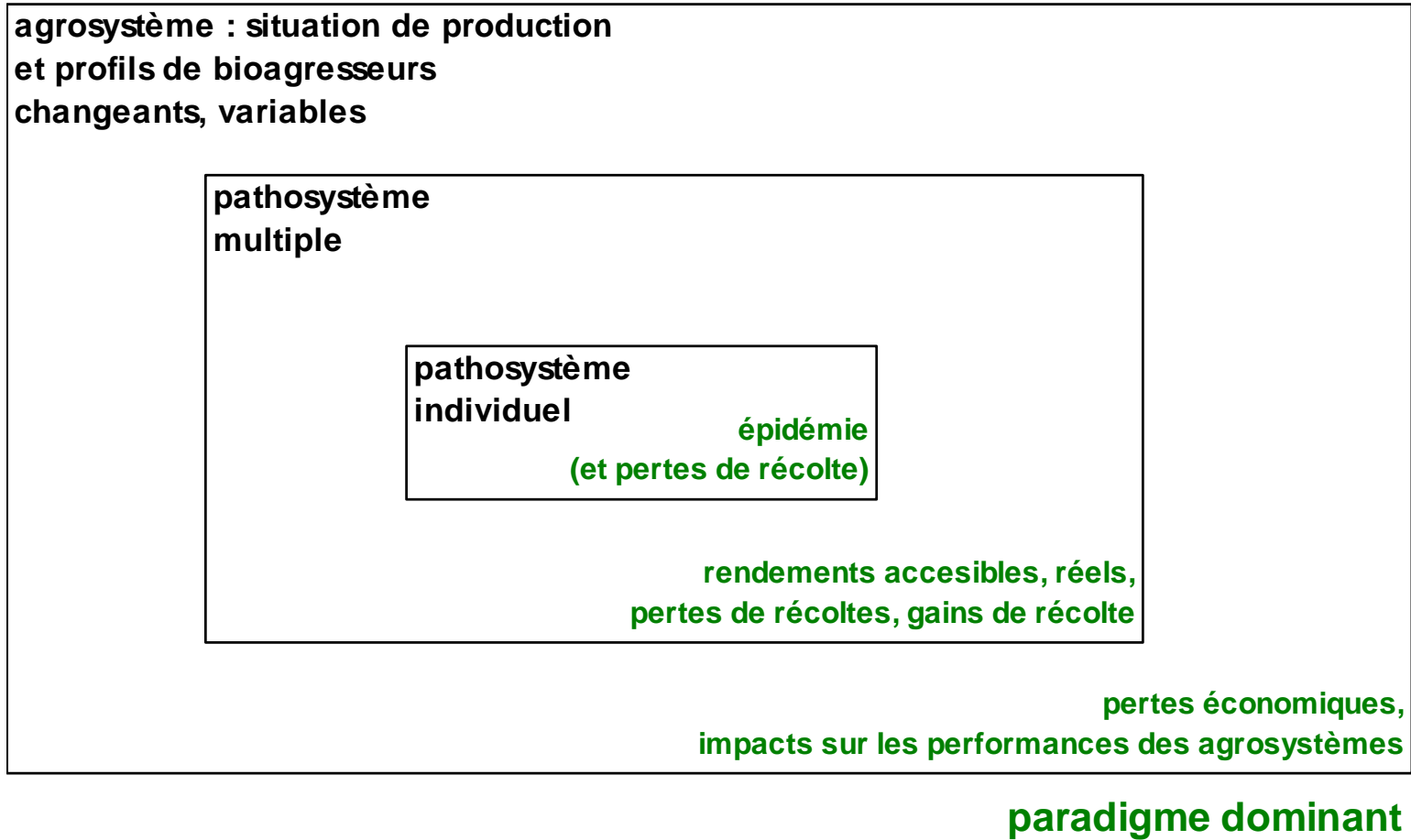


Source:

Savary, S., Castilla, N.P., Elazegui, F.A. & Teng, P.S., 2005. Multiple effects of two drivers of agricultural change, labour shortage and water scarcity, on rice pest profiles in tropical Asia. *Field Crops Research* 91/2-3: 263-271.

# conclusions

## niveaux d'intégration





# Conclusions

- 1- La gestion du flétrissement des gaines du riz (*Rhizoctonia solani*) doit être considérée comme une priorité de recherche dans les 'greniers à grain' d'Asie. La recherche doit se focaliser sur l'élaboration de stratégies de gestion, plutôt que vers des technologies individuelles de contrôle.
  - 2- La gestion de l'helminthosporiose (*Cochliobolus miyabaenus*) implique un déploiement de ces variétés résistantes à l'encontre d'un parasite génétiquement variable.
  - 3- Le profil de bio-agresseurs du riz dans de nombreuses situations où la culture est temporairement submergée (inclut les foreurs de tiges, le pourrissement des gaines et divers défoliateurs), doit être envisagé comme un ensemble. La seule approche pratique semble d'améliorer les situations de production.
  - 4- Dans les environnements irrigués 'défavorables' (ou submergés 'favorables'), de légères modifications des pratiques culturales peuvent suffire à réduire l'impact du flétrissement des gaines du riz.
  - 5- La gestion des adventices constitue une priorité de premier plan pour l'avenir.
  - 6- Une recherche de base doit être maintenue, afin de continuer à assurer l'identification, l'incorporation, et le déploiement de résistances.
- Plus important encore, la gestion des résistances, qui constitue une ressource limitée et non renouvelable, devrait être perçue comme une priorité de tout premier plan.

S. Savary. Séminaire épidémiologie

Source:  
Willcoquet, L., Elazegui, F. A., Castilla, N., Fernandez, L., Fischer, K. S., Peng, S., Teng, P. S., Srivastava, R. K., Singh, H. M., Zhu, D., and Savary, S., 2004. Research priorities for rice disease and pest management in tropical Asia: a simulation analysis of yield losses and management efficiencies. *Phytopathology* 94(7):672-682.

Table 4. Simulated yield losses (%) due to individual and combined injuries in a series of production environments

Injuries <sup>a</sup>	Generic production situation <sup>b</sup> x Injury profile						
	GPS1xIN1	GPS2xIN1	GPS3xIN3	GPS4xIN1	GPS5xIN2	GPS6xIN2	GPSMxINM
BLB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.1
SHR	1.3	1.3	7.3	1.3	3.6	3.6	3.7
SHB	9.6	10.9	7.6	8.1	5.6	4.9	8.3
BS	0.0	0.0	7.7	0.0	10.5	9.5	5.7
LB	0.0	0.0	1.5	0.0	1.2	0.9	0.7
NB	0.0	0.0	2.1	0.0	0.4	0.4	0.7
BPH	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	0.6	0.8	0.7	0.4	0.8	0.6	0.8
DH	0.4	0.5	1.0	0.2	0.6	0.5	0.9
WH	2.4	2.4	5.8	2.4	1.9	1.9	3.2
WEED	13.0	13.7	12.6	10.2	22.6	21.5	15.5
COMB <sup>c</sup>	25.8	27.9	40.6	21.7	43.1	40.5	36.5
ACC <sup>d</sup>	27.3	29.6	46.2	22.6	47.8	44.5	39.6

<sup>a</sup> BLB: bacterial leaf blight; SHR: sheath rot; SHB: sheath blight; BS: brown spot; BPH: brown plant hopper; DEF: defoliator; DH: dead heart; WH: white head; WEED: weeds.

<sup>b</sup> Generic Production Situations GPS1 to GPS6 and GPSM are described in Table 2; Injury profiles IN1, IN2, IN3, and INM are described in Figure 3.

<sup>c</sup> Simulated relative yield loss (%) caused by combined injuries in the different production environments

<sup>d</sup> Accumulated simulated relative yield losses (%) caused by individual injuries in the different production environments

Table 4. Simulated yield losses (%) due to individual and combined injuries in a series of production environments

Injuries <sup>a</sup>	Generic production situation <sup>b</sup> x Injury profile						
	GPS1xIN1	GPS2xIN1	GPS3xIN3	GPS4xIN1	GPS5xIN2	GPS6xIN2	GPSMxINM
BLB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.1
SHR	1.3	1.3	7.3	1.3	3.6	3.6	3.7
SHB	9.6	10.9	7.6	8.1	5.6	4.9	8.3
BS	0.0	0.0	7.7	0.0	10.5	9.5	5.7
LB	0.0	0.0	1.5	0.0	1.2	0.9	0.7
NB	0.0	0.0	2.1	0.0	0.4	0.4	0.7
BPH	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	0.6	0.8	0.7	0.4	0.8	0.6	0.8
DH	0.4	0.5	1.0	0.2	0.6	0.5	0.9
WH	2.4	2.4	5.8	2.4	1.9	1.9	3.2
WEED	13.0	13.7	12.6	10.2	22.6	21.5	15.5
COMB <sup>c</sup>	25.8	27.9	40.6	21.7	43.1	40.5	36.5
ACC <sup>d</sup>	27.3	29.6	46.2	22.6	47.8	44.5	39.6

<sup>a</sup> BLB: bacterial leaf blight; SHR: sheath rot; SHB: sheath blight; BS: brown spot; BPH: brown plant hopper; DEF: defoliator; DH: dead heart; WH: white head; WEED: weeds.

<sup>b</sup> Generic Production Situations GPS1 to GPS6 and GPSM are described in Table 2; Injury profiles IN1, IN2, IN3, and INM are described in Figure 3.

<sup>c</sup> Simulated relative yield loss (%) caused by combined injuries in the different production environments

<sup>d</sup> Accumulated simulated relative yield losses (%) caused by individual injuries in the different production environments