

# **Expérimentation et modélisation**

## **Le modèle BETHA**

### **(aide à la conception d'itinéraires techniques pour le blé)**



Formation INRA-ACTA-ICTA  
Introduction à la modélisation  
juin/novembre 2005





# Plan de l'intervention

- **Éléments de contexte et conséquences sur les choix de modélisation**
- **Construction et évaluation du modèle agronomique : les apports de l'expérimentation**
- **Evolution du modèle agronomique et perspectives (création d'une interface utilisateur)**

# Contexte de l'étude : émergence de la filière blé éthanol (1994)



- ✓ Une filière fortement soutenue par les pouvoirs publics (exonération de la TIPP, prime jachère)
- ✓ Des controverses sur l'intérêt énergétique puis environnemental de la filière



# Produire du blé éthanol : un cahier des charges nouveau et multicritère à satisfaire



Pouvoirs publics



Marge et coût de production

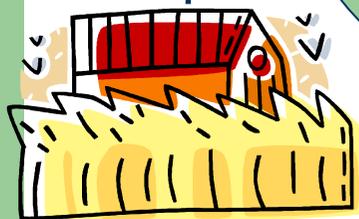


Bilan énergétique

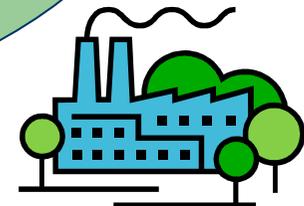


Reliquat d'azote minéral dans le sol à la récolte  
Quantité de matières actives de produits phytosanitaires

Nombre de passages d'outils  
Teneurs en protéines du blé  
Dureté variétale



Agriculteurs



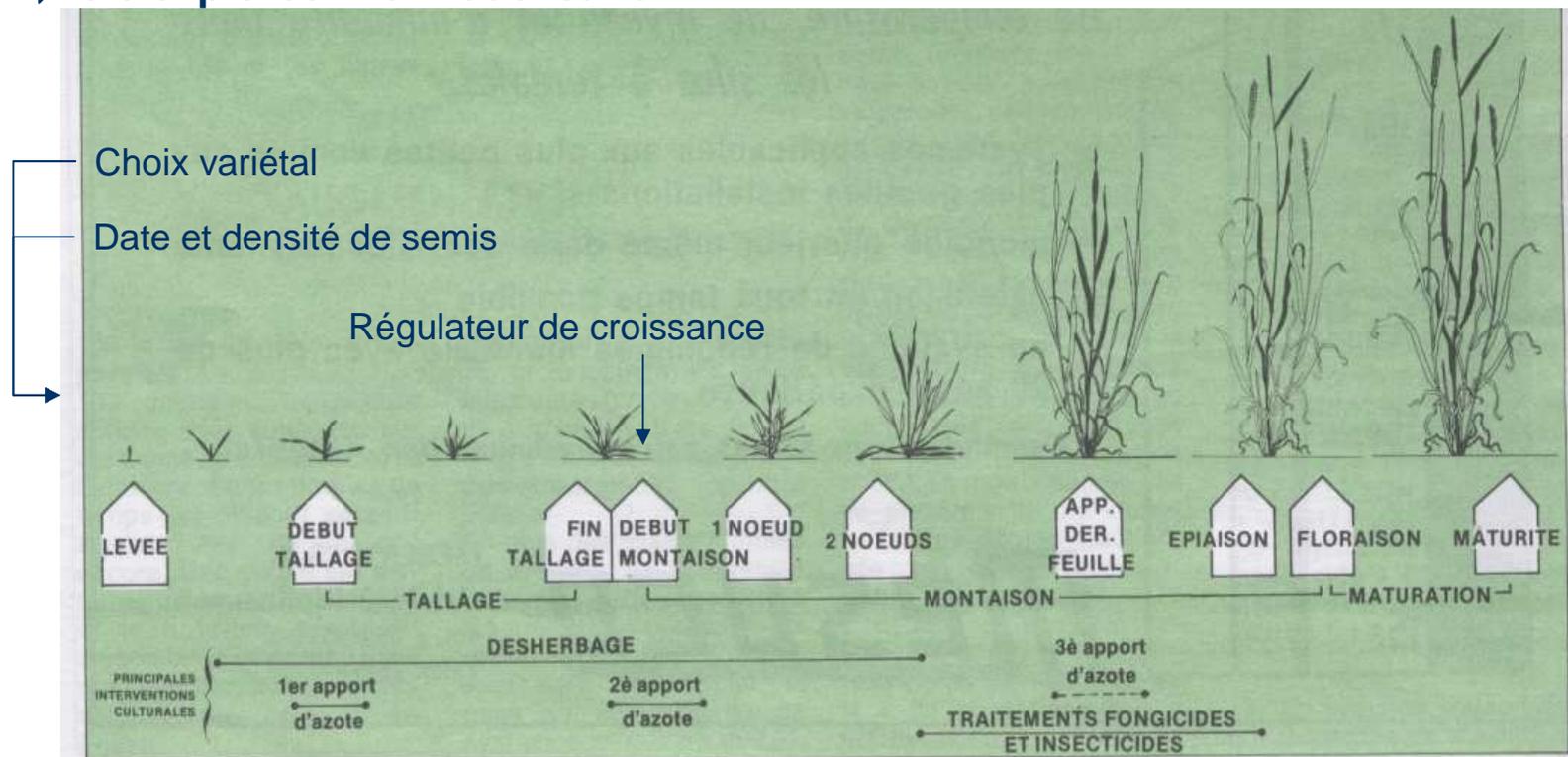
Transformateurs

# Comment concevoir des itinéraires techniques adaptés au cahier des charges de la production de blé éthanol ?

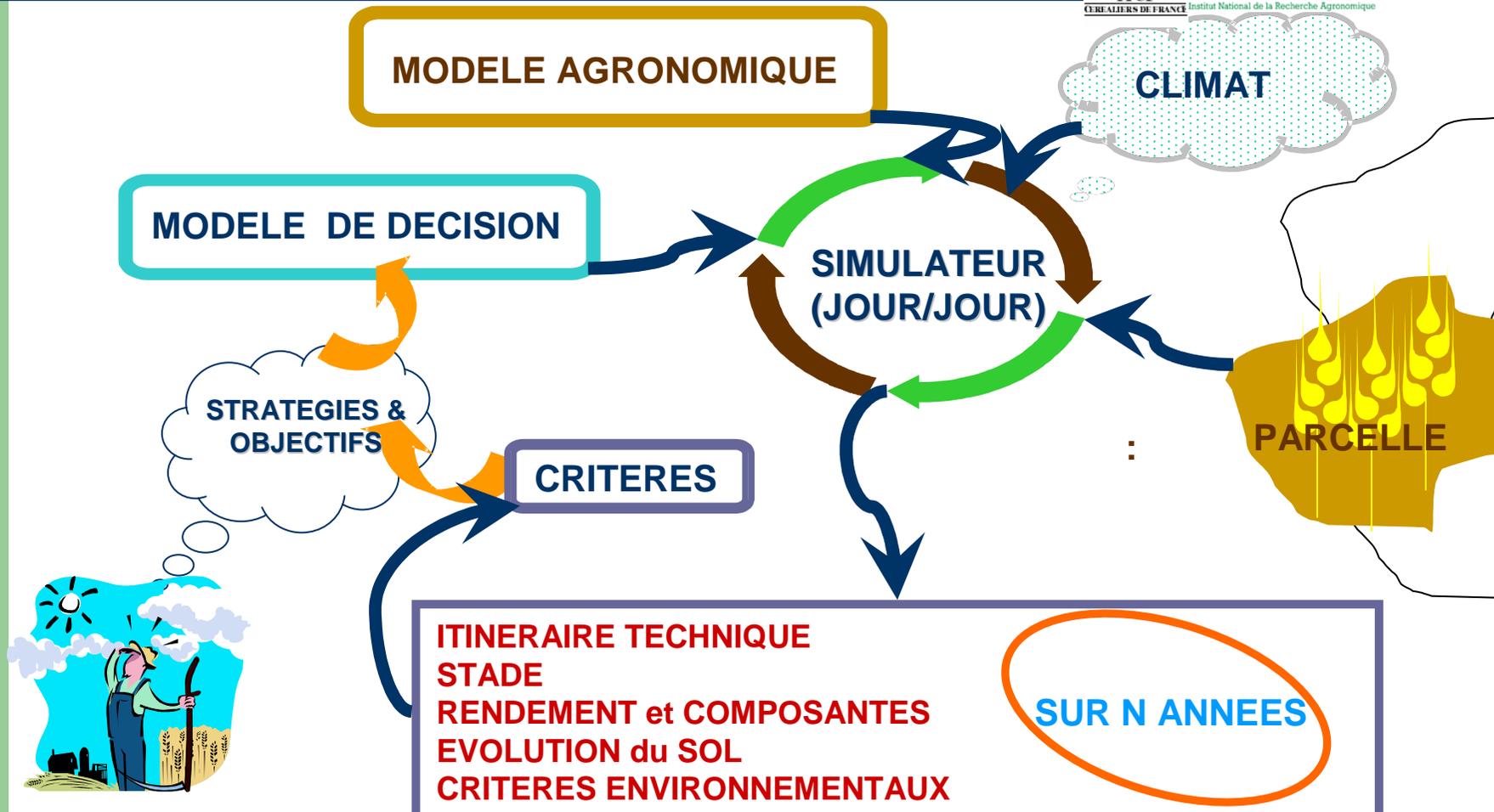


✓ Un itinéraire technique avec des effets complexes sur le fonctionnement du blé, qui dépend des caractéristiques du milieu (climat, sol)

↳ voie explorée = la modélisation



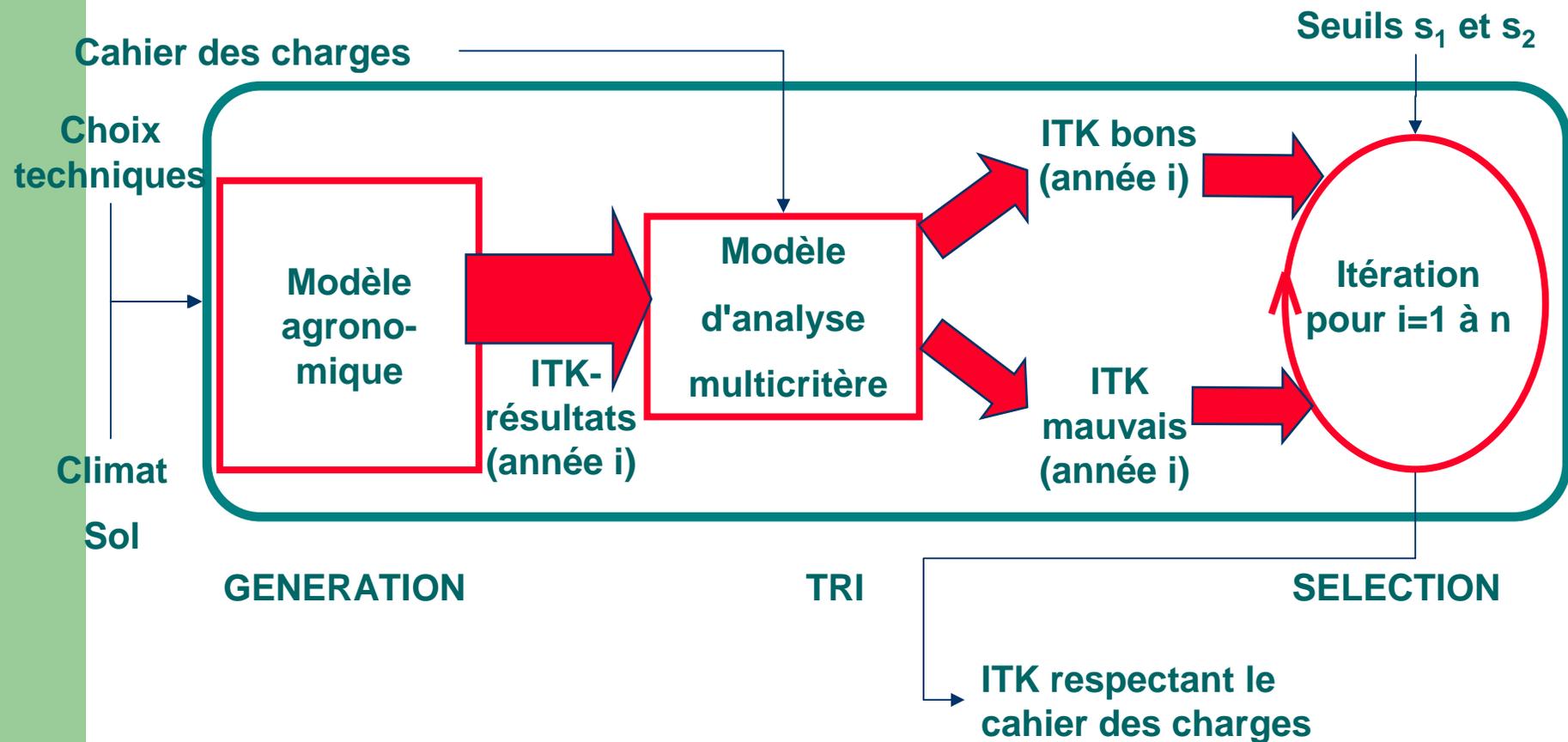
# Première piste : utilisation de Déciblé (Aubry *et al*, 1990 ; Chatelin *et al*, 2004)



## Difficultés rencontrées avec DéciBlé

- Modèle agronomique : pas de données disponibles pour paramétrer de nouvelles variétés ; pas de module concernant les stratégies de protection fongicide
- Comment choisir un itinéraire technique au regard de plusieurs critères ?
- Approche par essai/erreur difficile pour un cahier des charges nouveau

# Mise au point de l'outil BETHA





# Plan de l'intervention

- **Eléments de contexte et conséquences sur les choix de modélisation**
- **Construction et évaluation du modèle agronomique : les apports de l'expérimentation**
- **Evolution du modèle agronomique et perspectives (création d'une interface utilisateur)**

# Éléments de choix concernant la structure du modèle agronomique

Prise en compte  
d'un ensemble de  
techniques  
culturales

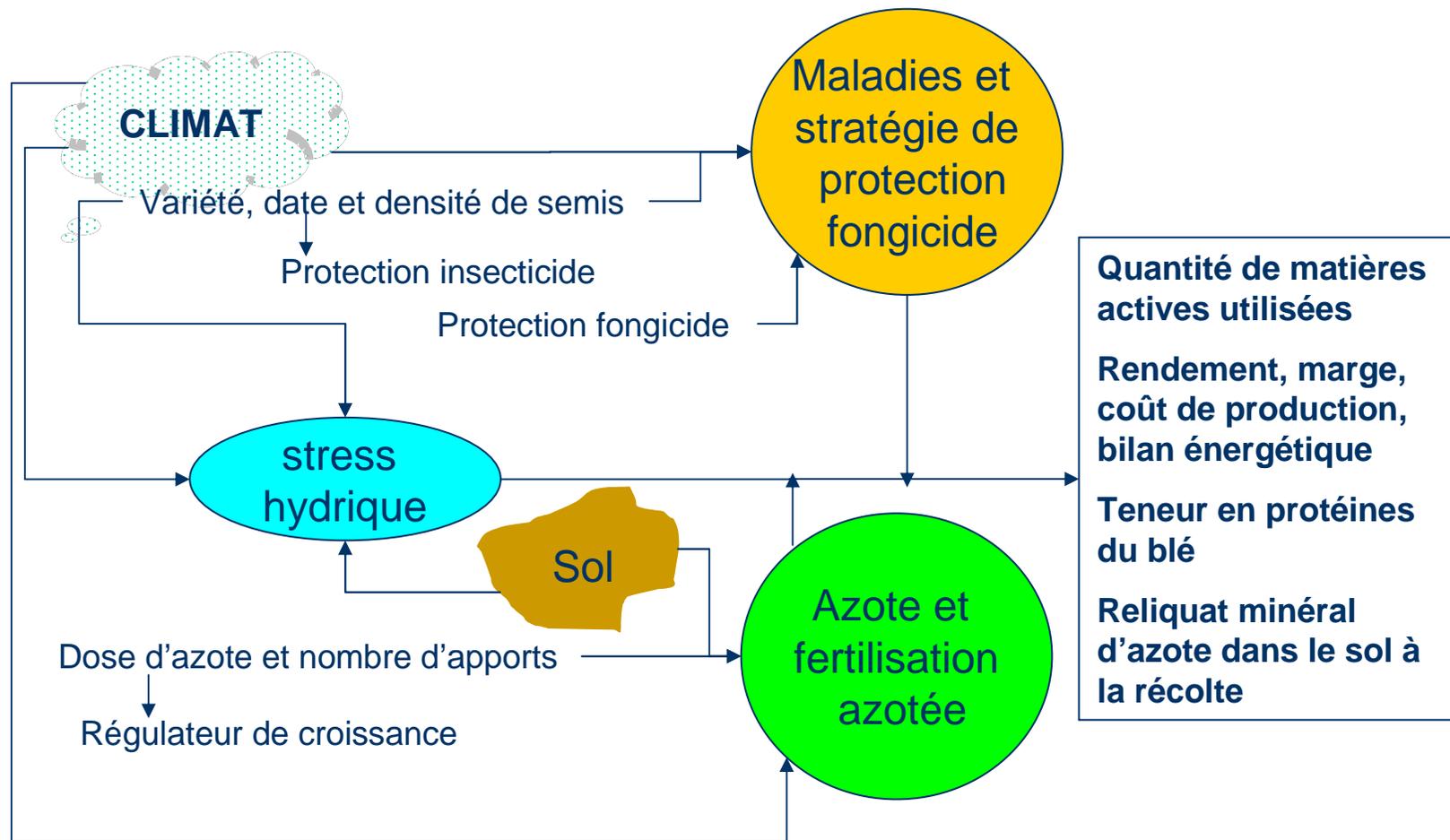
Principaux  
facteurs limitants  
du rendement connus  
dans la région d'étude  
(azote, maladies)

Un ensemble de  
relations  
empiriques et non  
dynamiques avec  
deux principaux  
modules : azote et  
maladies

Valorisation des  
essais disponibles  
(estimer les  
paramètres,  
évaluer les  
relations)

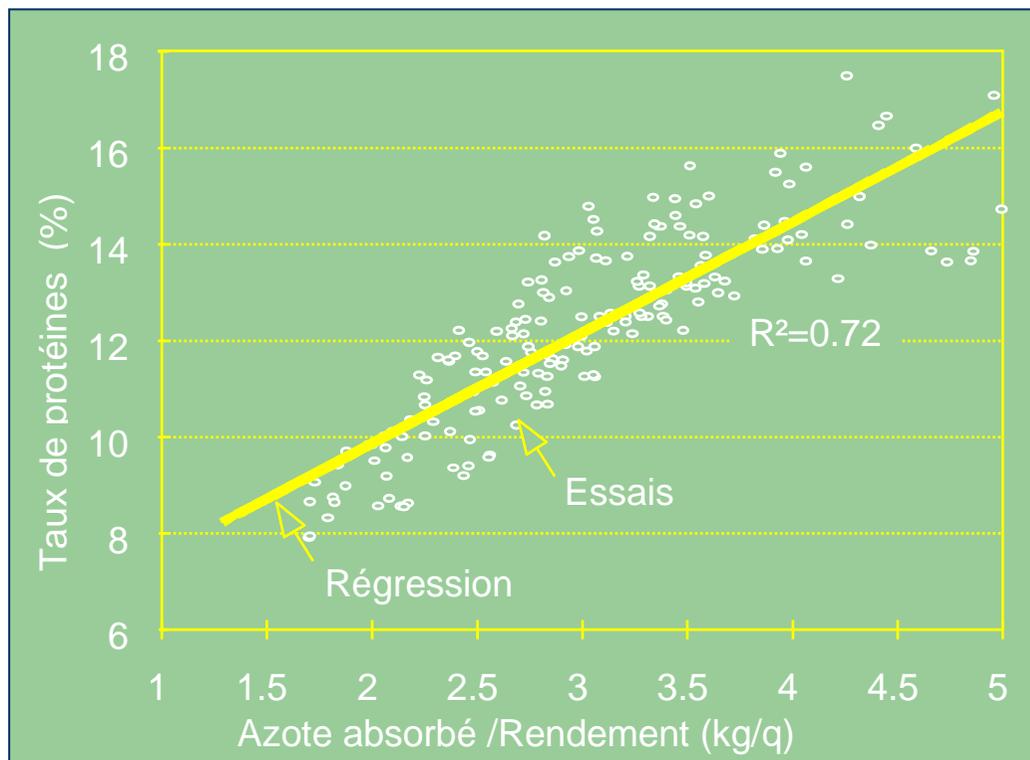
Un algorithme de  
génération  
des ITK (CSP)  
rendant difficile  
l'utilisation de modèles  
dynamiques

# Organisation du modèle agronomique



## Estimation des paramètres : utilisation d'essais factoriels (essais azote, essais maladies)

→ Estimation relation par relation, à partir d'essais régionaux



✓ Choix des essais régionaux : des caractéristiques proches de la région d'étude (Champagne crayeuse)

-essais azote en Aunis (type de sol)

-essais maladies en Picardie (profil de maladie)

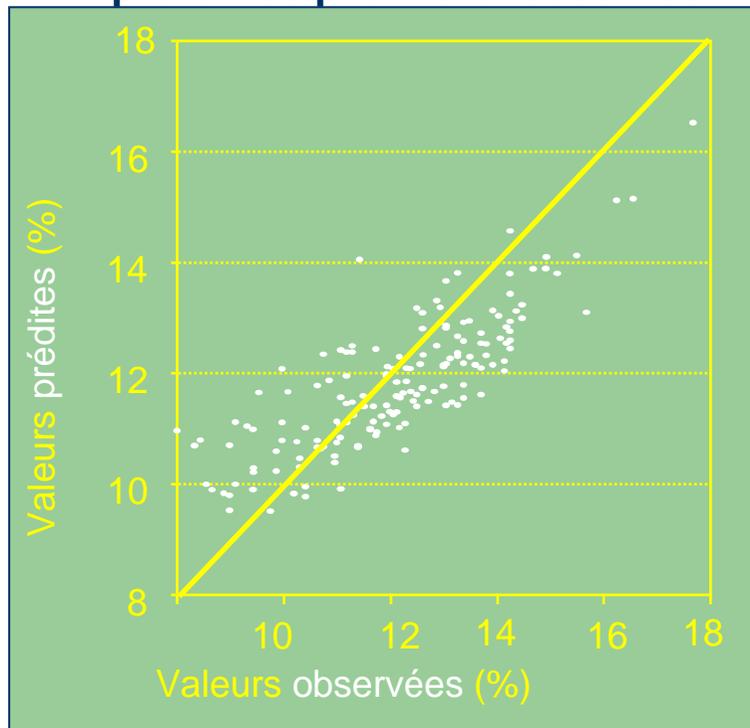
**Essais fongicides non disponibles**

# Evaluation des relations



à partir d'un réseau d'essais champenois (région d'étude)

Confrontation des taux de protéines prédits et observés



↪ Identification des biais

Comparaison des MSEP  
(erreur moyenne quadratique)

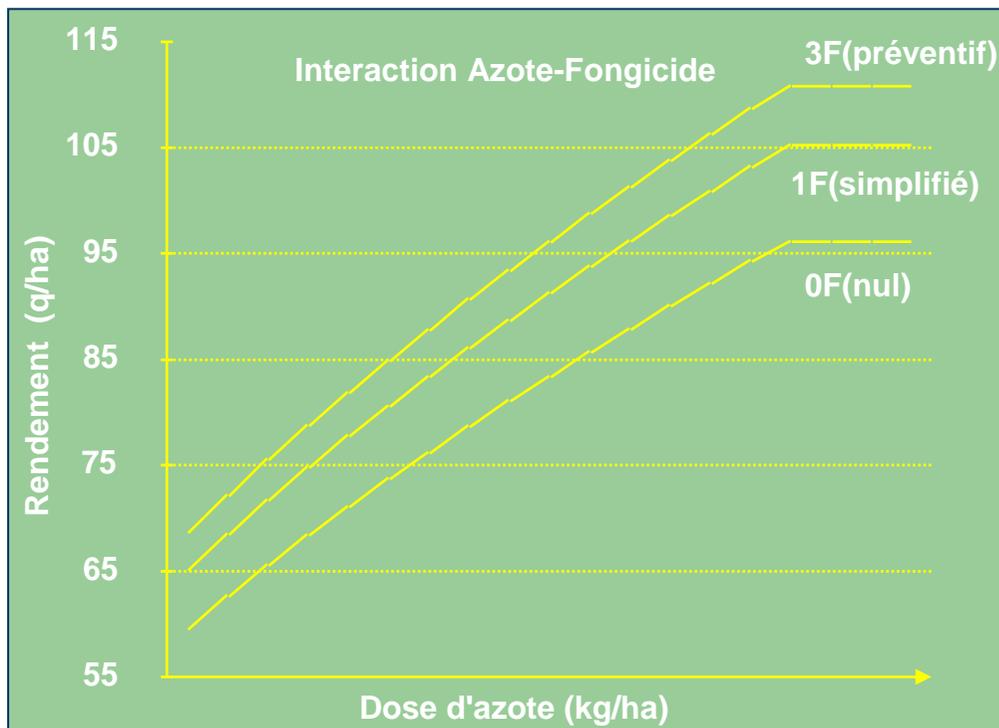
MSEP (%) <sup>2</sup>	
RELATION - observations	MODELE MOYEN - observations
1.17	3.59

↪ Valeur prédictive

**Faible valeur prédictive du module maladies**

# Evaluation du modèle

Etude des interactions entre techniques



↪ Cohérence  
d'ensemble du modèle

*Pas d'essais ITK pour évaluer le modèle dans son ensemble*

# Les solutions obtenues avec Betha

Date et densité de semis	Variété	Fongicide	Dose d'azote + n(apports)	
Oct-Nov, 180-270  7 solutions	Balthazar	OF	X-80 X-100	1

Semis  
précoce à  
tardif

Densité  
de semis  
réduite

Variété  
résistante  
aux  
maladies

Protection  
fongicide  
limitée

Dose d'azote réduite, en  
1 ou 2 apports

👉 Des itinéraires techniques à **faible niveau d'intrants**

# Evaluation des solutions obtenues



Mise en place d'un réseau expérimental multilocal et pluriannuel

■ 94-95    ■ 95-96

Précédent :

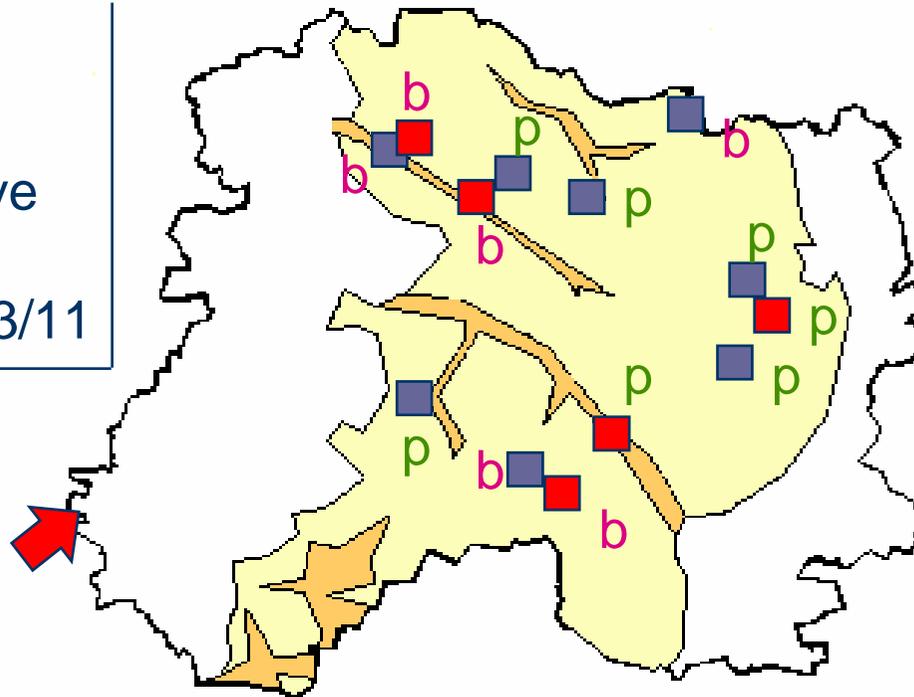
p : Pois ; b : Betterave

Semis du 04/10 au 23/11



Paris

Marne



## Les itinéraires techniques présents sur chaque essai

Intitulé	Densité de semis	Protection fongicide	Dose d'azote	Nombre d'apports
REF	280 gr/m <sup>2</sup>	3F	X	3
0F1N	180 gr/m <sup>2</sup>	0F	X-80	1

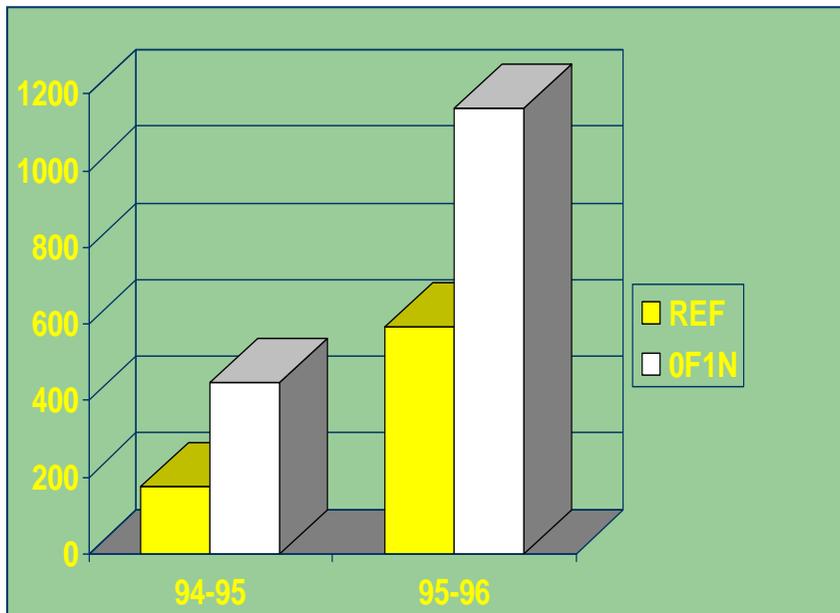
+ Variantes : Protection fongicide simplifiée, 2 apports d'azote à X-40  
sur 2 variétés (Balthazar-Euréka, Balthazar -Tribun)  
et 4 blocs

# Evaluation globale des itinéraires techniques

Exemple des critères économiques

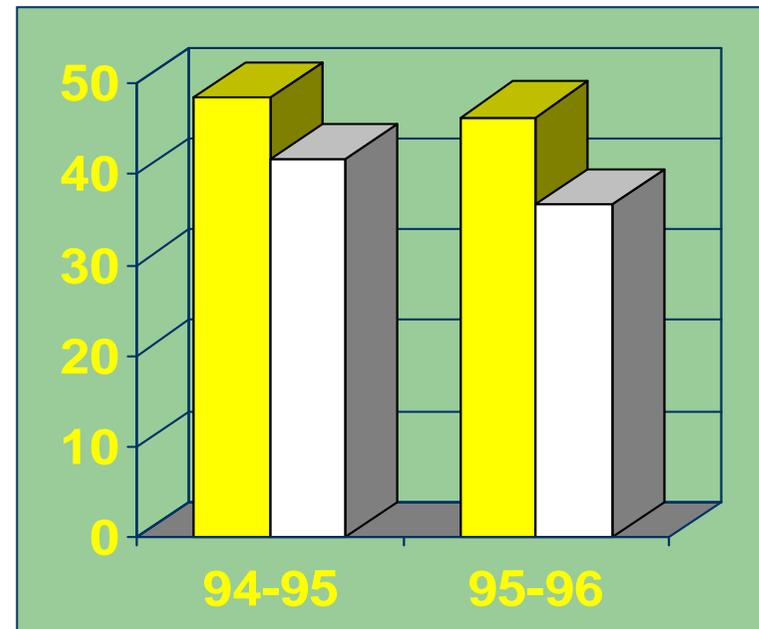


Marge (F/ha)



Augmentation  
variant de 420 à 860 F/ha  
Objectif = +500 F/ha

Coût de production (F/q)



Réduction  
de 0.2 à 0.33 F/l  
Objectif = -0.5 F/l

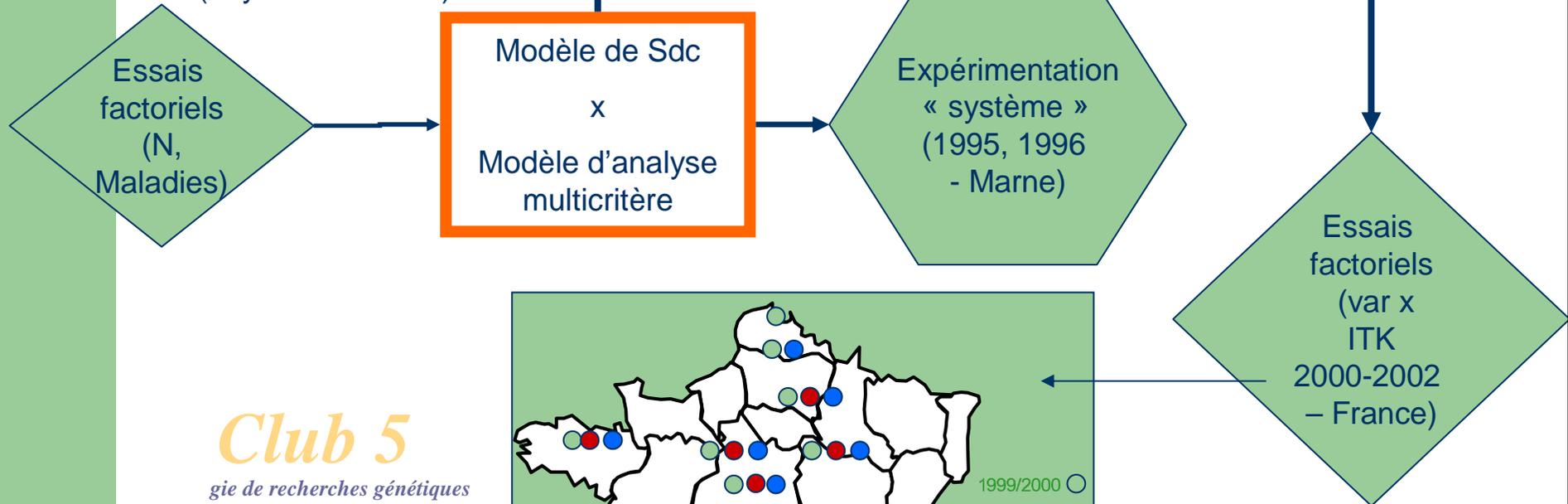
# Les articulations entre les activités de modélisation et expérimentation : premier bilan (1994-1998)

Modèle Betha (Loyce *et al.* 1998)

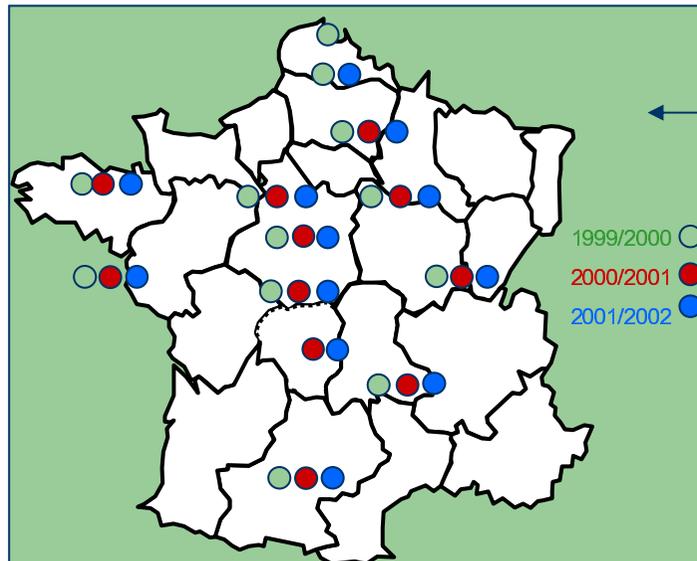


# Les articulations entre les activités de modélisation et expérimentation : mise en place d'un réseau d'essais « variétés rustiques » (2000-2002)

Modèle Betha (Loyce *et al.* 1998)



**Club 5**  
généraliste de recherches génétiques  
céréales



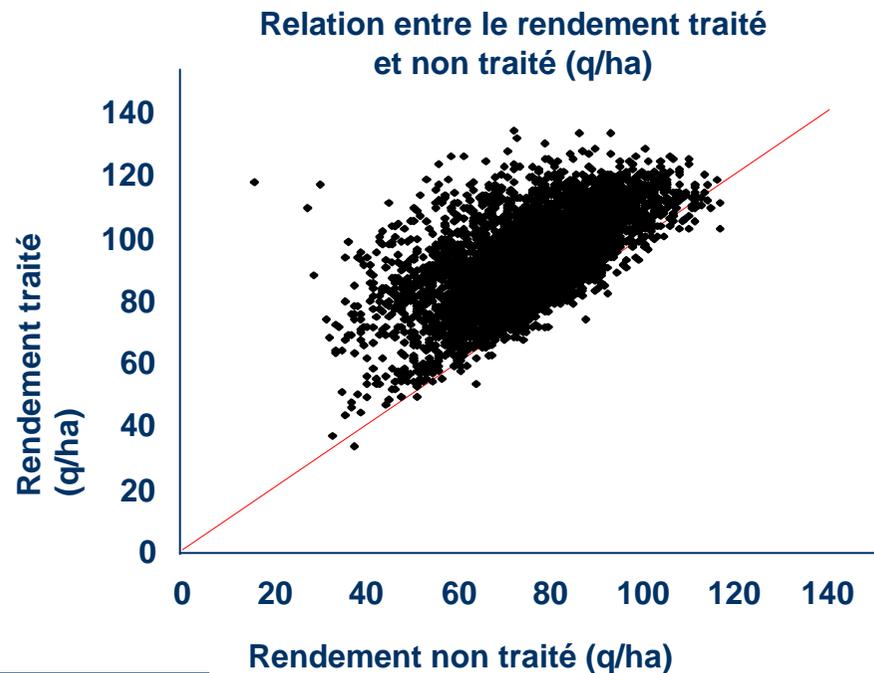


# Plan de l'intervention

- **Éléments de contexte et conséquences sur les choix de modélisation**
- **Construction et évaluation du modèle agronomique : les apports de l'expérimentation**
- **Evolution du modèle agronomique et perspectives (création d'une interface utilisateur)**

# Modification du modèle maladies : utilisation d'essais variétaux

Elaboration d'une base de données à partir des essais VAT du GEVES 276 essais (1991 - 2002) = 5180 observations



Hypothèse : la relation entre le rendement traité et non traité dépend

- du milieu (pression de maladies)
- de caractéristiques variétales (résistance aux maladies et précocité)

NT	T
----	---

(Zhang, 2005)

# Présentation du modèle « maladies »

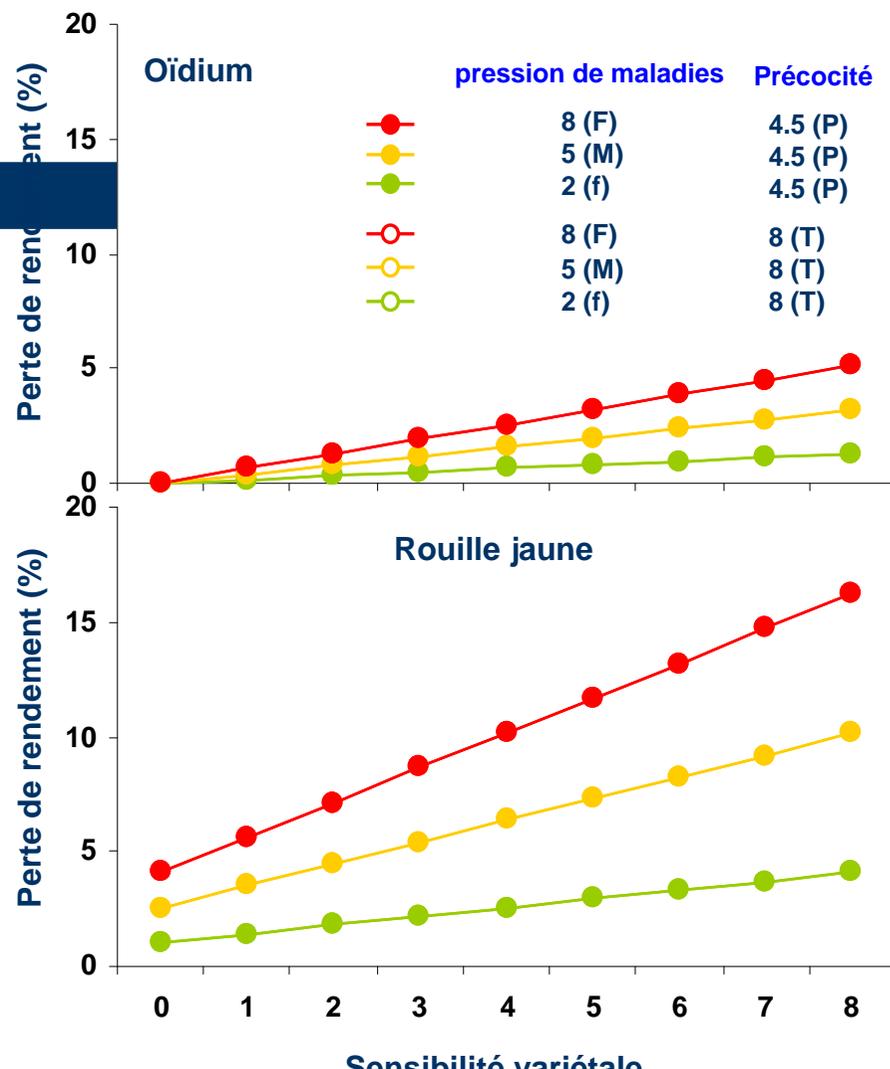
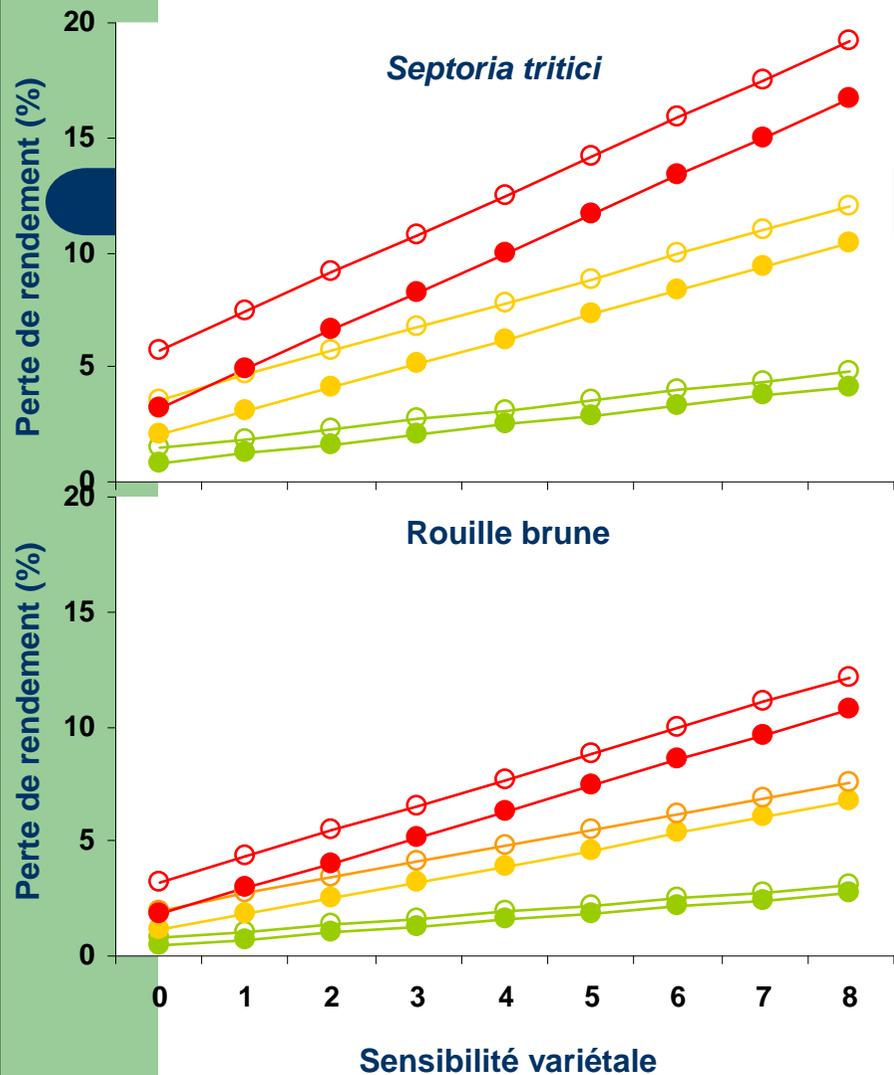
$$\begin{aligned}
 \text{Perte de rendement relative (\%)} &= \frac{\text{RDT traité} - \text{RDT non traité}}{\text{RDT traité}} \times 100 = \\
 0.51 \cdot R_j + \text{sens. var} \times \text{pression maladie} + \text{précocité d'épiaison} \times \text{pression maladie} & \\
 \left( \begin{array}{l} 0.21 (\text{SeS} \times \text{Se}) + \\ 0.08 (\text{OiS} \times \text{Oi}) + \\ 0.14 (\text{RbS} \times \text{Rb}) + \\ 0.19 (\text{RjS} \times \text{Rj}) \end{array} \right) &+ \left( \begin{array}{l} 0.09 (\text{PRE} \times \text{Se}) + \\ 0.05 (\text{PRE} \times \text{Rb}) \end{array} \right) \\
 + \text{année} + \text{année} \times \text{essai} & \text{ (effets aléatoires)}
 \end{aligned}$$

Se, Rb, Rj, Oi : pression de septoriose, rouille brune, rouille jaune et oïdium pour chaque essai, de 0 (aucune pression) à 8 (forte pression)

SeS, RbS, RjS, OiS : sensibilité variétale à la septoriose, à la rouille brune, à la rouille jaune et à l'oïdium, de 0 (résistante) à 8 (sensible)

PRE : précocité d'épiaison variétale, de 4.5 (la plus précoce) à 8 (la plus tardive) (Zhang, 2005)

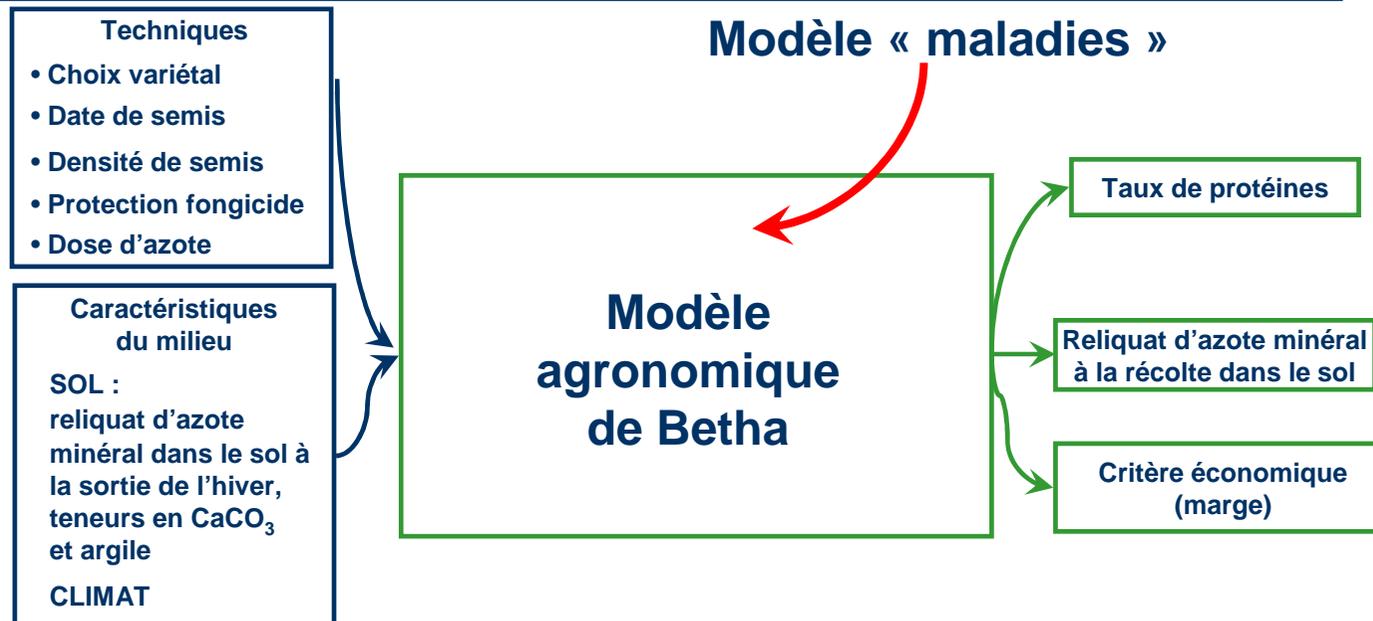
## Les résultats issus du modèle « maladies »



Sensibilité variétale  
 Des effets importants pour *Septoria tritici* et rouille jaune, puis pour rouille brune  
 Des effets plus limités pour l'oïdium

(Zhang, 2005)

# Intégration du modèle « maladies » dans le modèle agronomique de Betha (Betha-var) et évaluation de Betha-var

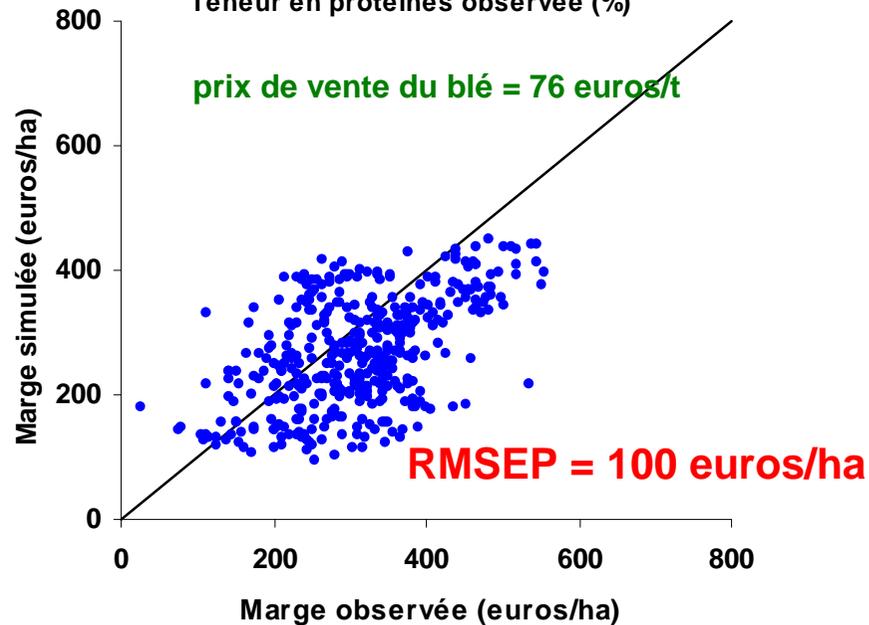
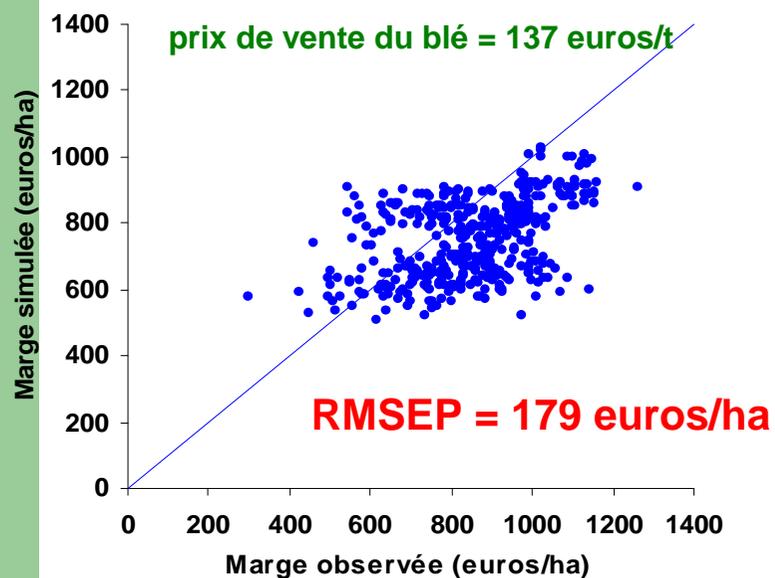
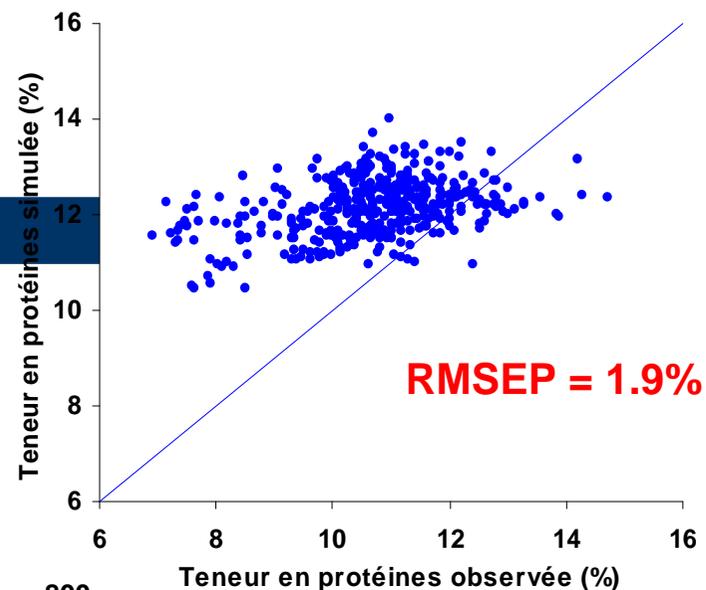
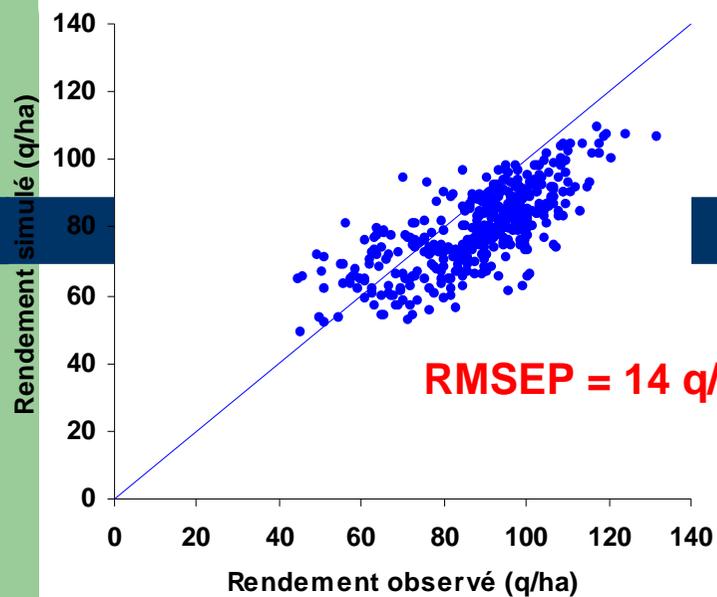


(Zhang, 2005)

**Evaluation du nouveau modèle agronomique (BETHA-var)  
(réseau d'essais « variété – itinéraire technique » de 2000 à 2002)**

# Evaluation de Beta-var

## Comparaison des valeurs observées et simulées pour les variables de sorties

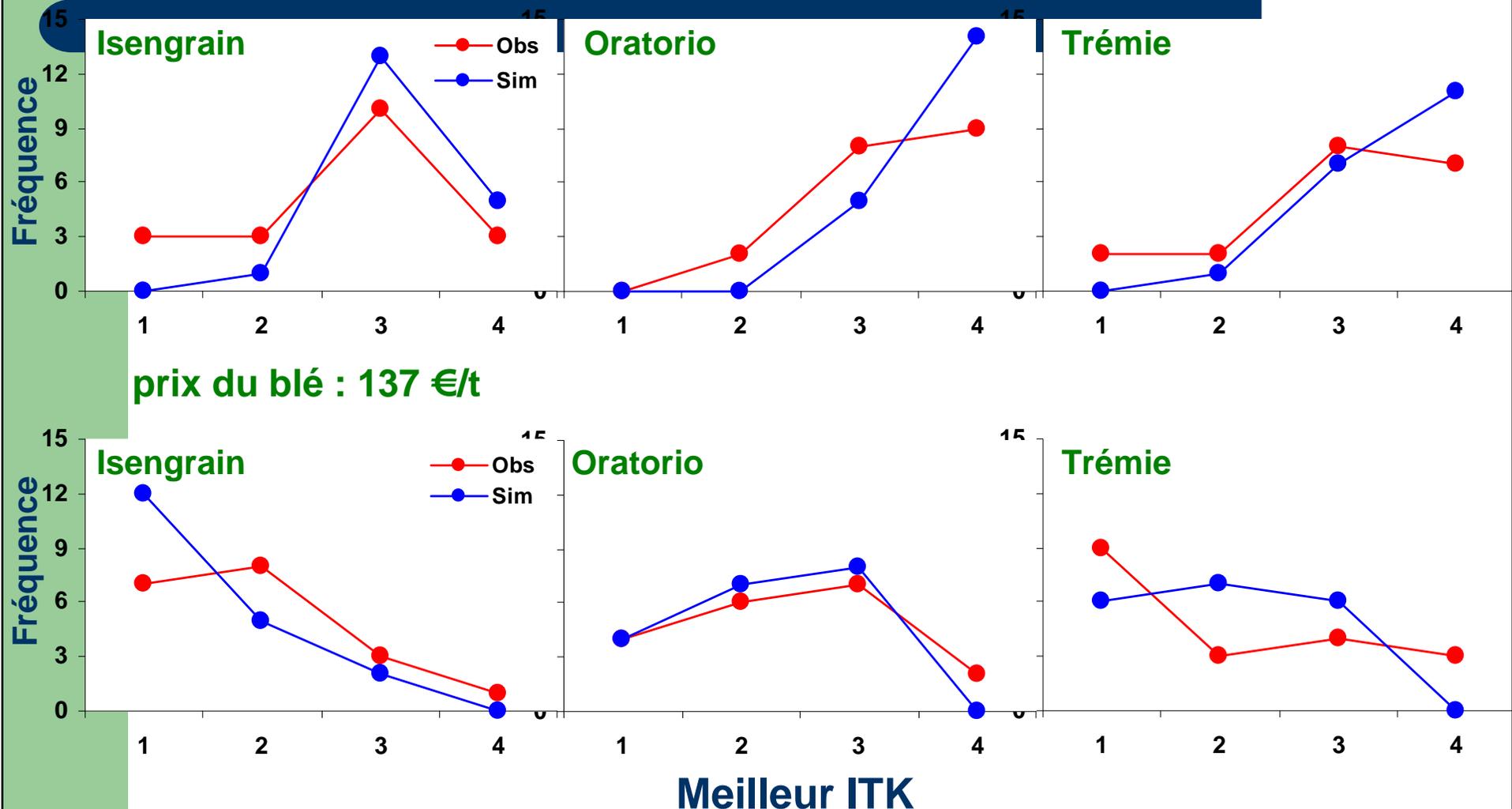


# Evaluation de Beta-var

Capacité à identifier le meilleur itinéraire technique (ITK) pour une variété donnée

Comparaison de la fréquence de chaque ITK observé et simulé  
obtenant la meilleure marge sur l'ensemble des essais

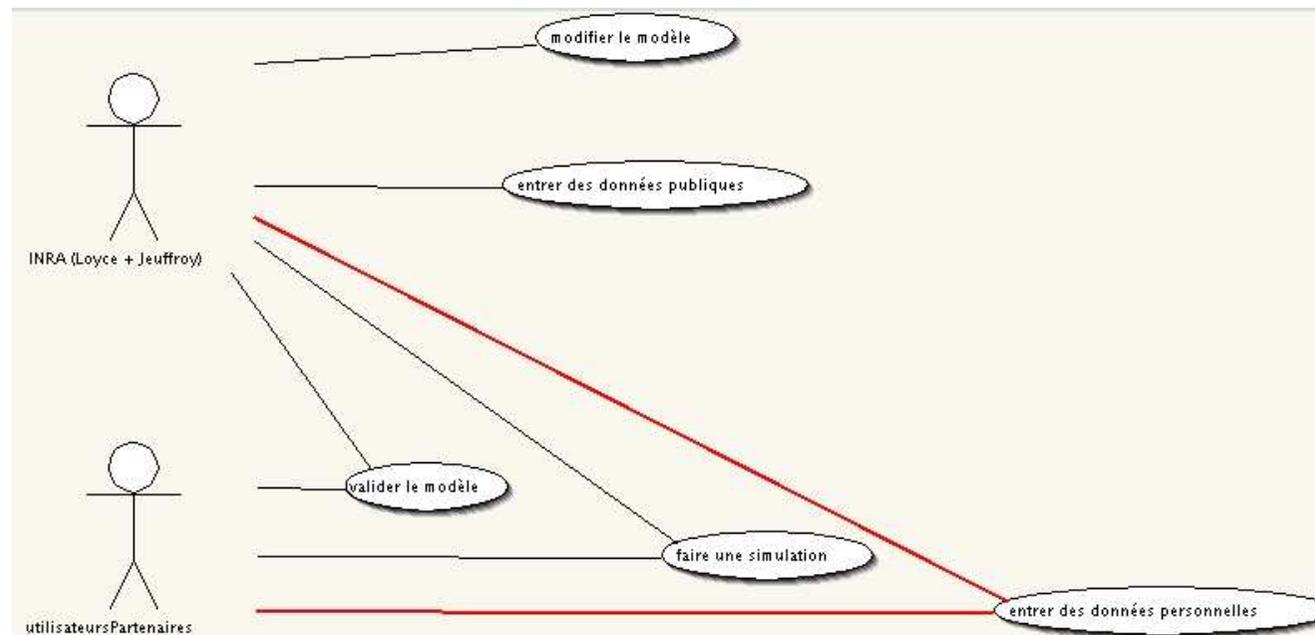
prix du blé : 76 €/t



# Développement d'une interface avec les utilisateurs (architecture web)

Etapes suivies : expression des besoins puis rédaction d'un cahier des charges

➔ Clarification des usages (et des usagers) de l'application



## Conclusion

- **Des implications variées des partenaires (appui à l'élaboration des bases des données, expertise sur les sorties de l'outil, suivi des expérimentations, utilisateurs de l'outil)**
- **Rôle central de l'expérimentation pour faire évoluer les modèles**

# Les articulations entre les activités de modélisation et expérimentation

