

-
-
-

Ecole Chercheurs « Introduction à la modélisation »
La Rochelle 28 novembre 2005

A quoi servent les modèles ?

Jean-Marc MEYNARD
INRA, Département SAD

-
-
-

Plan: A quoi servent les modèles?

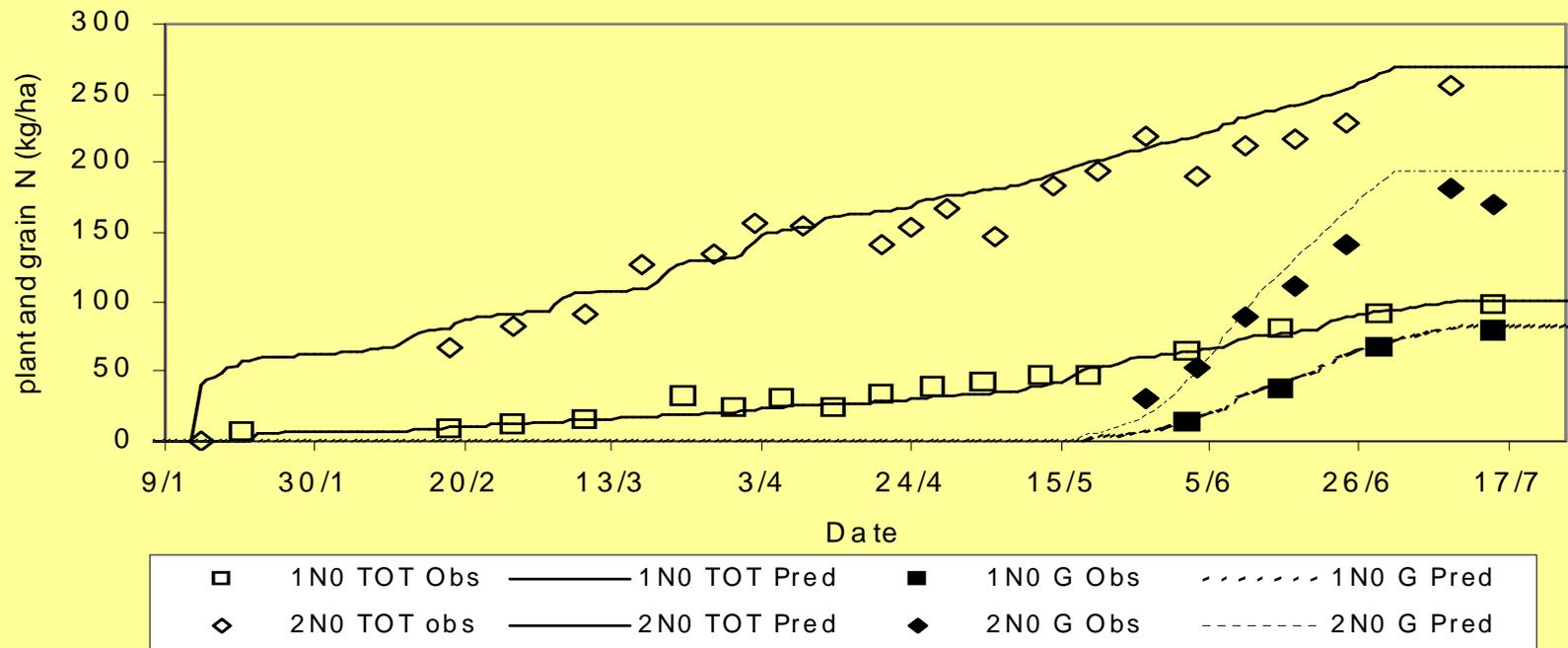
- **1. A quoi les modèles peuvent-ils servir?**
- **2. A quelles conditions les modèles peuvent-ils servir à d'autres qu'à leurs concepteurs?**

•
•
**Les 2 modèles qui serviront de support aux exemples:
un modèle de fonctionnement de culture,**

AZODYN (*Jeuffroy et al*)

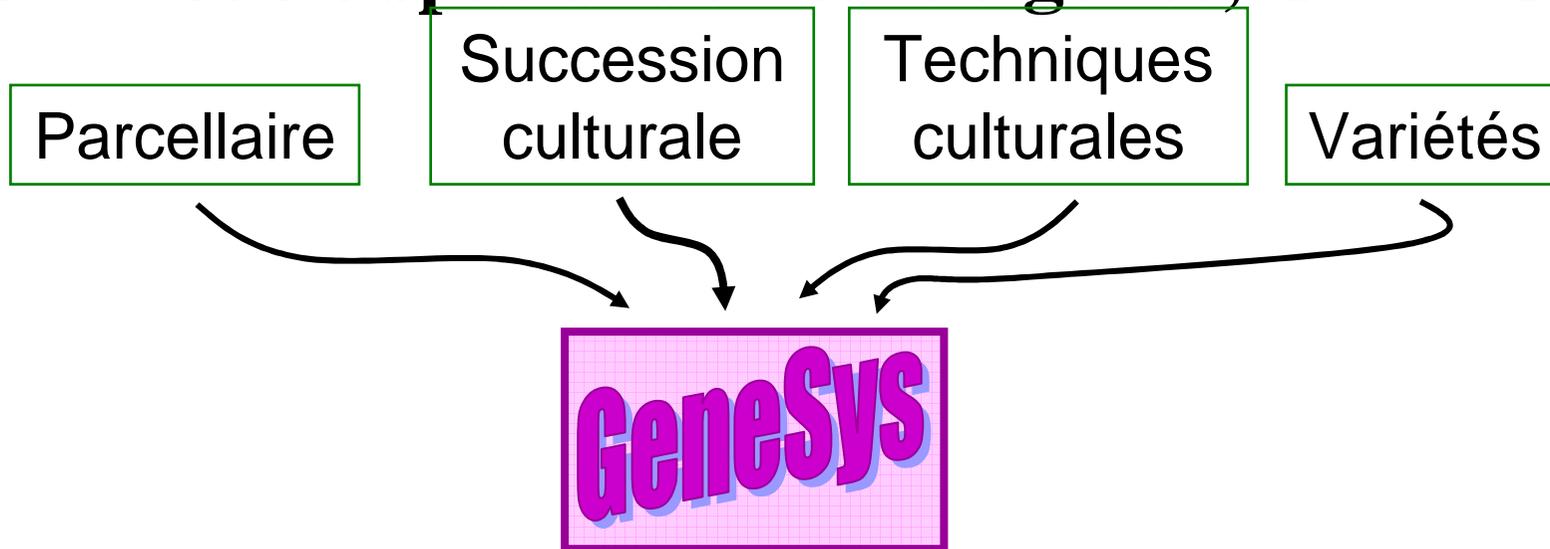


Exemple de simulation Azodyn (David et al, 2004) sur une culture de blé en agriculture biologique

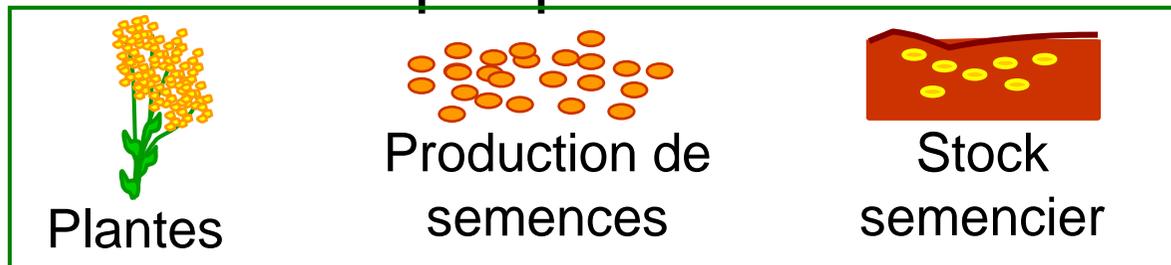


Evolution de la quantité d'N dans les plantes (TOT) et dans les grains (G), dans deux parcelles ; comparaison des valeurs observées et simulées

Les 2 modèles qui serviront de support aux exemples: un modèle spatial de flux de gènes, GENESYS



Pour chaque parcelle et année:

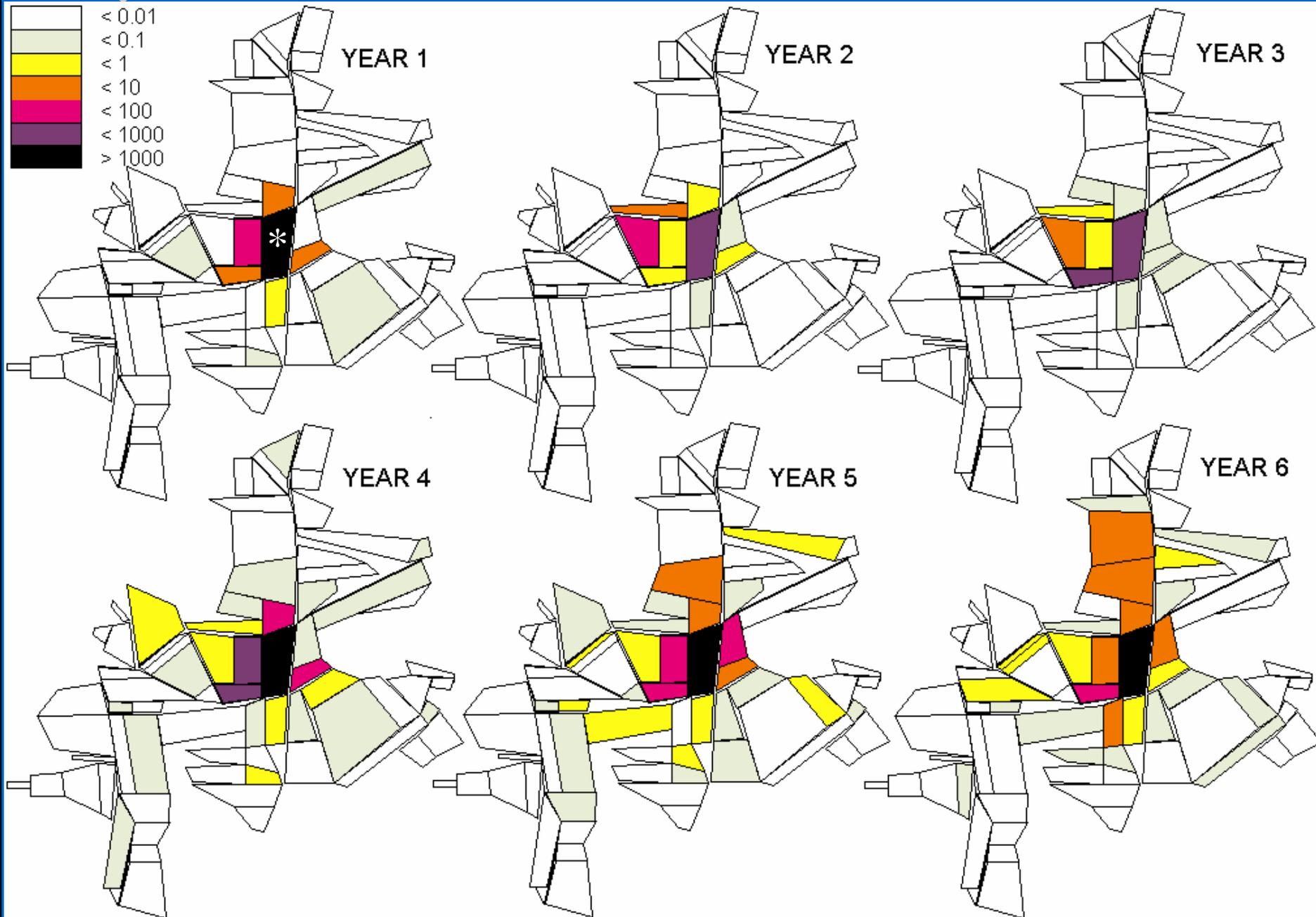


- Nombres par m²

- Proportions avec transgène

(Colbach et al, 2001)

Exemple de simulation GeneSys (Colbach et al 2001)



-
-
-

1- A quoi les modèles peuvent-ils servir?

- **1.1. Usages heuristiques et pédagogiques**
- **1.2. Usages diachroniques: prévision et reconstitution d'une histoire**
- **1.3. Usages pour l'analyse de la diversité du réel**
- **1.4. Usages pour l'exploration de scénarios**

-
-
-

1.1. Usages heuristiques et pédagogiques

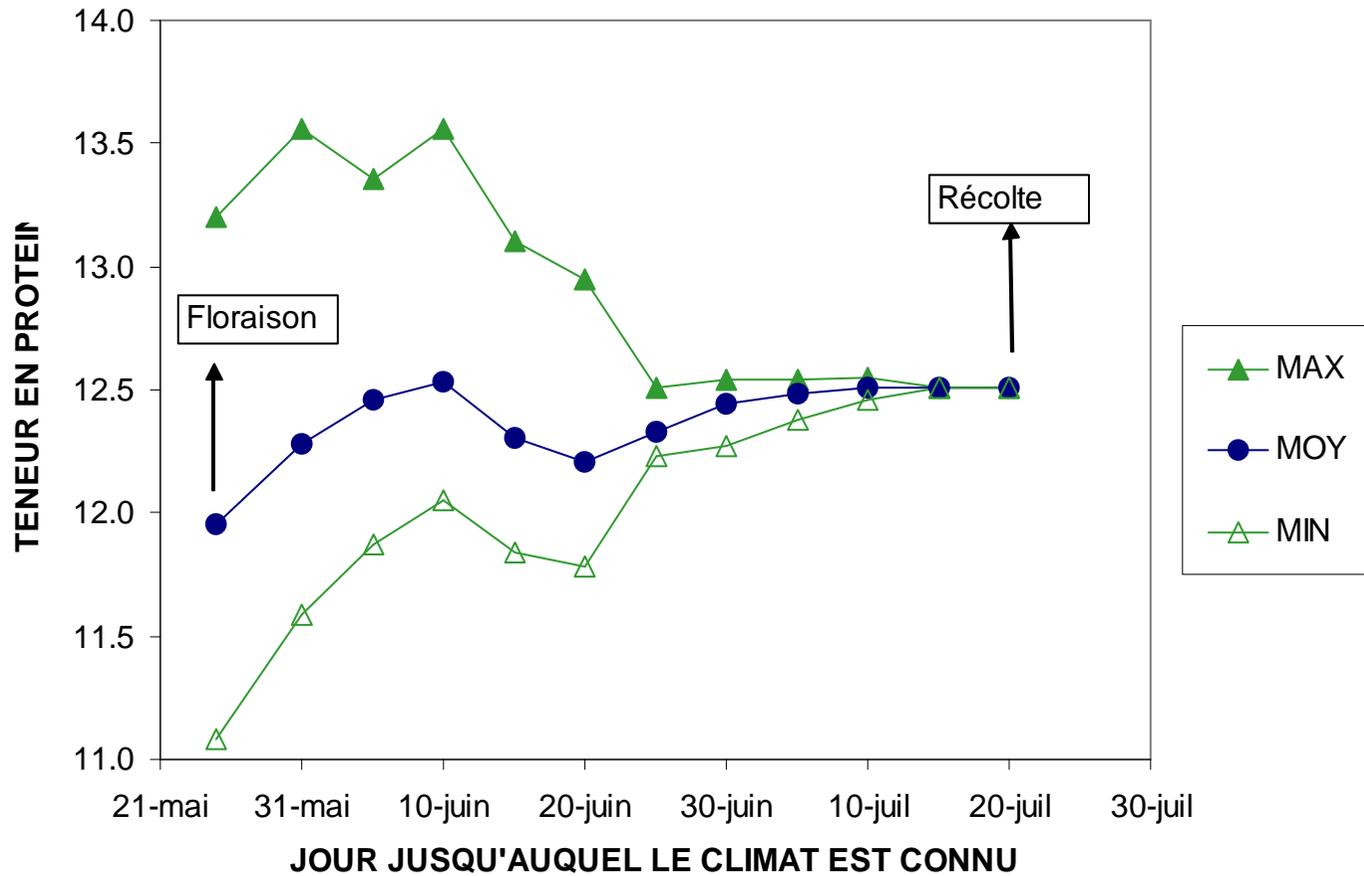
- **Le modèle, moyen de synthétiser des connaissances dans une démarche de recherche**
 - Vérifier que les connaissances analytiques permettent, une fois connectées entre elles, de rendre compte du comportement de l'ensemble du système
 - Mettre en évidence, grâce au modèle, des propriétés émergentes du système
- **La simulation interactive, outil d'apprentissage: découverte des propriétés du système par des étudiants lors d'analyse de sensibilité, didacticiels (Blé 2000, simulateur de vol ...)**

-
-
-

1.2. Usages diachroniques: prévision

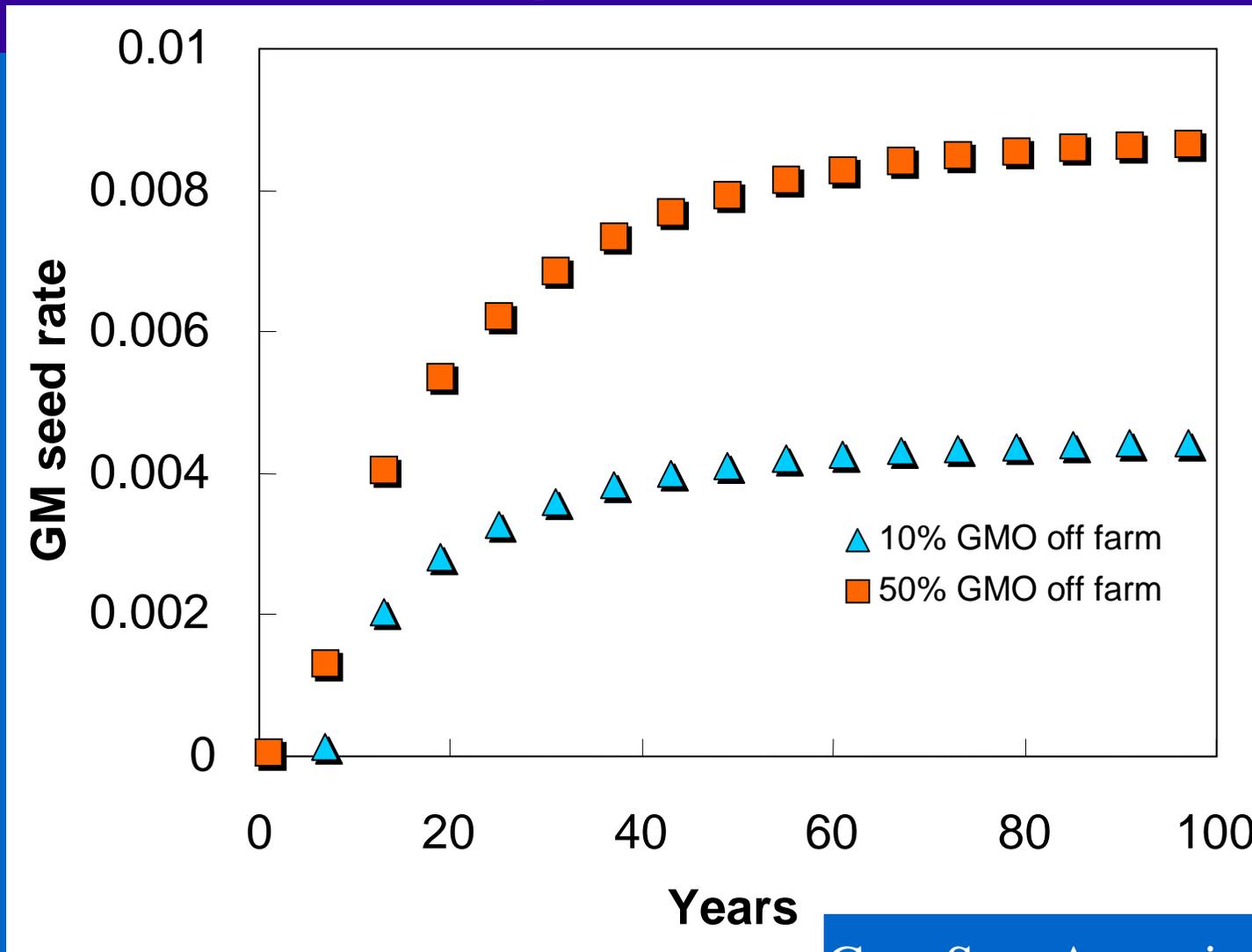
- **Prévision :**
 - à court terme (exemple de la prévision de la teneur en protéines 1 mois avant récolte),
 - à long terme (exemple de la contamination d'une exploitation sans OGM au cours du temps)
 - Se servir du modèle pour fabriquer un indicateur prédictif simple.

Etat à floraison : 12 t/ha biomasse, 204 kg/ha N accumulé, 28530 grains/m²



(Azodyn, Jeuffroy, 2002)

Evolution of contamination rate of isolated crop over time



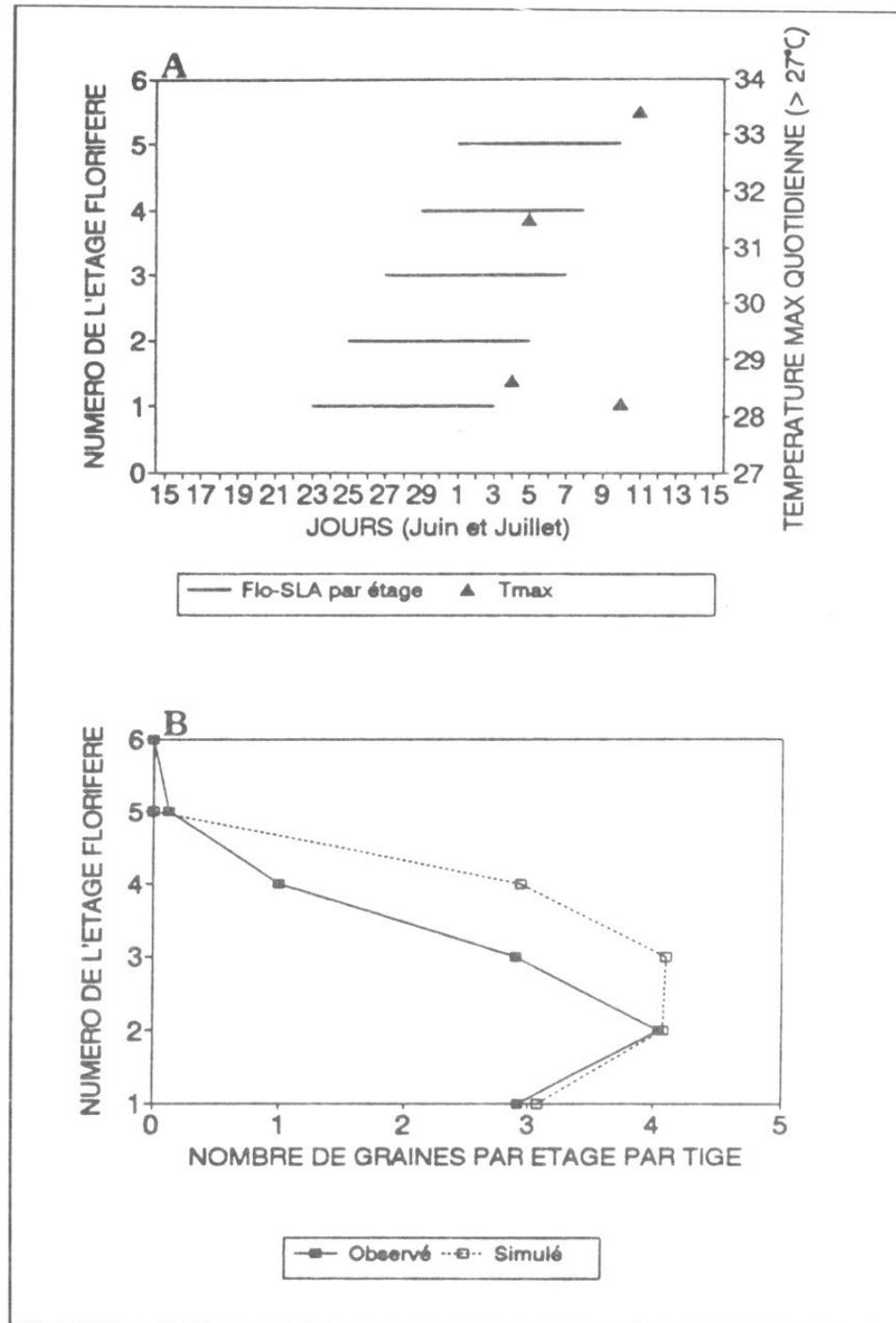
(GeneSys, Angevin et al, 2003)

-
-
-

1.2. Usages diachroniques: reconstitution de l'histoire

- **Comment en est on arrivé là? Diagnostic sur une situation réelle**
 - exemple du diagnostic sur pois protéagineux

-
-
- **Diagnostic de l'effet des hautes températures chez le pois protéagineux** (d'après Jeuffroy, 1992)
-
-
-
-
-



-
-
-

1.2. Usages diachroniques: reconstitution de l'histoire

- **Usages du modèle pour le diagnostic:**
 - l'effet d'un facteur est montré par l'analyse des écarts au modèle
 - l'effet d'un facteur est montré par la concordance entre la simulation de son effet et la réalité
 - le modèle permet d'estimer des conséquences non visibles des systèmes de culture ou d'élevage (ex pollutions)

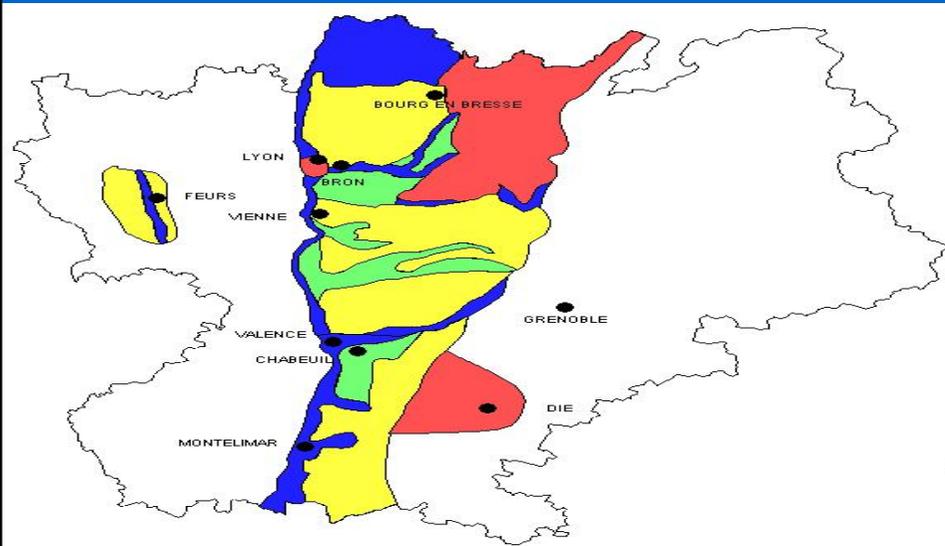
→ Fabrication d'indicateurs de diagnostic à partir du modèle

-
-
-

1.3. Usages pour l'analyse de la diversité du réel

- **Analyse de représentativité :**
 - les conditions qui ont conduit à observer tel résultat sont elles fréquentes? Analyse de fréquence sur les variables d'entrée du modèle qui influencent le processus en jeu.
 - Exemples : Fréquence d'une année « record » (1984, 2003...) ; représentativité d'expérimentations (réseau d'inscription variétés, réseau flux de gènes)
- **Etudes spatiales: cartes de potentiel de production, cartes de teneur en protéines pour le blé bio...**

Le Blé en région Rhône-Alpes: principales zones pédo-climatiques



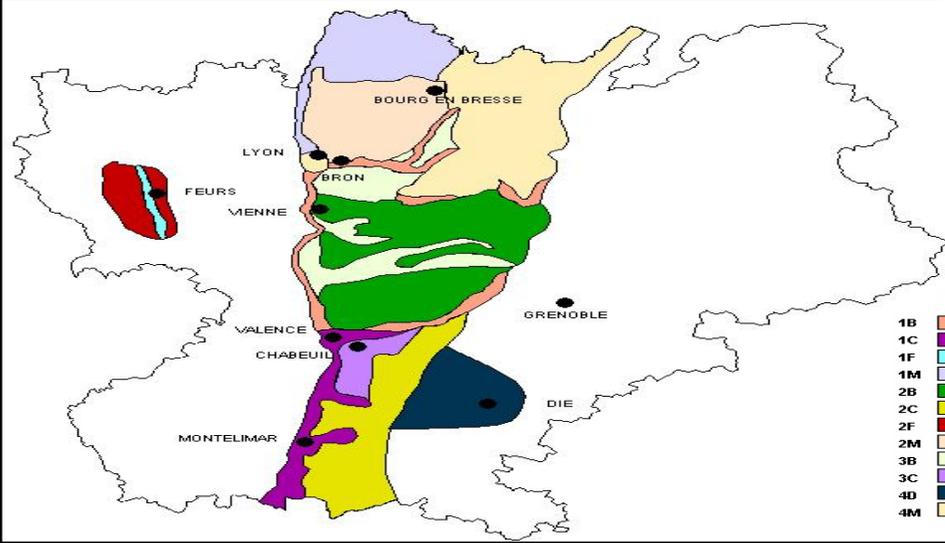
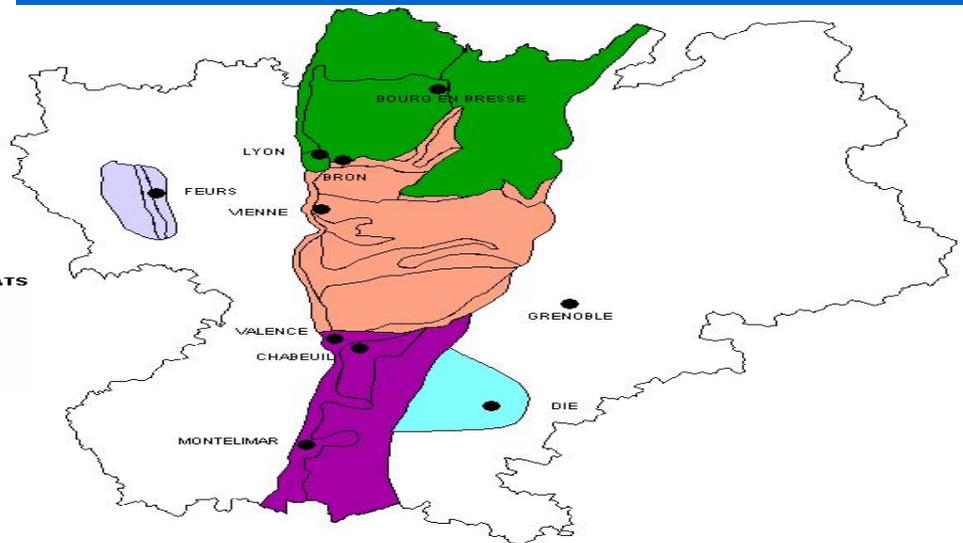
LES PRINCIPALES UNITES DE SOLS

US1	Argiles profonds 35-50% Arg
US2	Limons argilo sableux 15-20% Arg
US3	Limons sableux caillouteux
US4	Argilo calcaire 35% Arg



LES PRINCIPAUX CLIMATS

BRON
CHABEUIL
DIE
FEURS
MISERIEUX

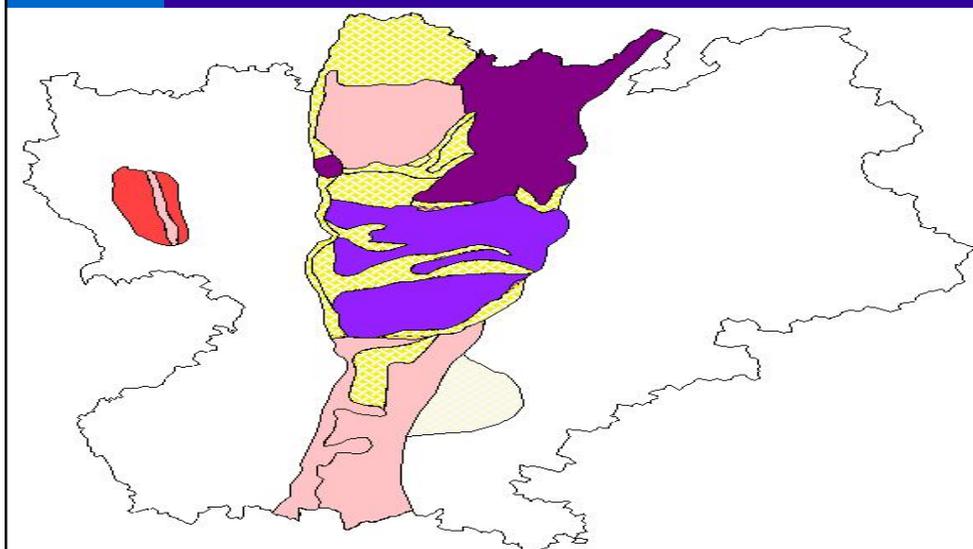


LES COMBINAISONS PEDO CLIMATIQUES

1B	US1 BRON
1C	US1 CHABEUIL
1F	US1 FEURS
1M	US1 MISERIEUX
2B	US2 BRON
2C	US2 CHABEUIL
2F	US2 FEURS
2M	US2 MISERIEUX
3B	US3 BRON
3C	US3 CHABEUIL
4D	US4 DIE
4M	US4 MISERIEUX

(David et al, 2004)

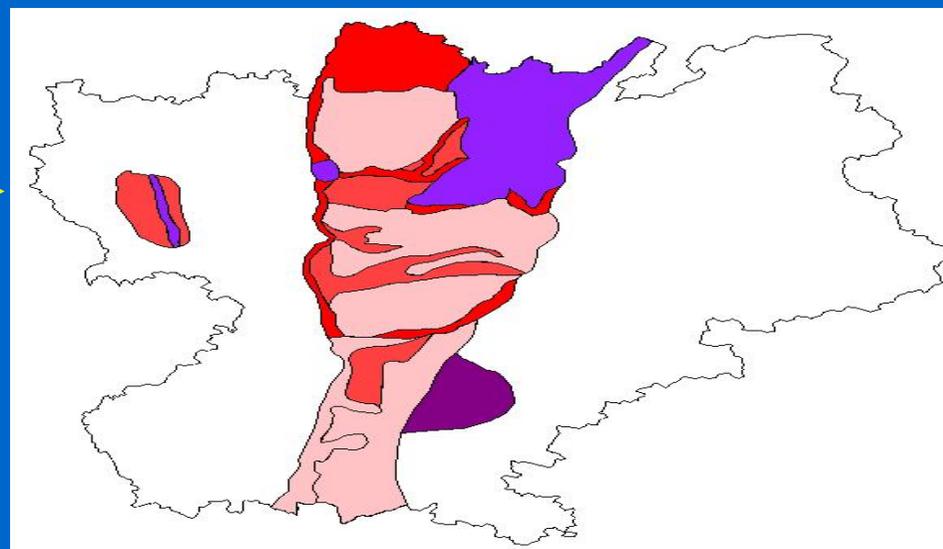
Incidence du système de culture sur la teneur en protéines du blé (pas d'adventices, pas d'apport d'engrais en culture)



← SC1 : SYSTÈME DE CULTURE À PRÉCÉDENT PAUVRE

SC2 : SYSTÈME DE CULTURE À PRÉCÉDENT PAUVRE AVEC APPORT DE MO →

	< 9 %
	9 à 9,5 %
	9,5 à 10 %
	10 à 10,5 %
	10,5 à 11 %
	11 à 11,5 %
	11,5 à 12 %
	> 12 %



-
-
-

1.4. Usages pour l'exploration de nouvelles solutions techniques

Si on dispose d'un modèle permettant de simuler les effets, sur la production et l'environnement, de différentes techniques, compte tenu du contexte de culture ou d'élevage (milieu, histoire, matériel génétique),

On peut l'utiliser pour explorer et comparer différentes options combinant ces techniques.

-
-
-

1.4. Usages pour l'exploration de nouvelles solutions techniques

Intérêts des modèles pour l'exploration de nouvelles solutions techniques:

- **Comparaison de 2 solutions techniques: possibilité de comparer sur une série d'années, en peu de temps**
- **Recherche de cohérences entre techniques: possibilité de multiplier les simulations pour rechercher les combinaisons les plus favorables**
- **Possibilité d'étudier des effets cumulatifs ou des arrangements spatiaux, beaucoup plus aisément qu'en expérimentation**
- **Possibilité d'étudier des innovations virtuelles: variétés non encore sélectionnées, ...**

Le modèle pour comparer des options techniques: Stratégies de fractionnement de l'engrais azoté (Azodyn)

(Jeuffroy, 2001)

	Stratégie 1		Stratégie 2		Stratégie 3		Stratégie 4		Stratégie 5	
	15/2	60	15/2	60	15/2	0	15/2	0	15/2	0
	20/3	120	20/3	80	20/3	160	15/3	120	1/04	140
	8/5	40	8/5	80	8/5	60	1/5	100	15/5	80

Parcelle 1:

Nmin à Sortie Hiver = 30kg/ha ; précédent cultural = féverole (Mr = 30)

	Stratégie 1	Stratégie 2	Stratégie 3	Stratégie 4	Stratégie 5
Rendement	95	87	98	97	86
%Pi	10.7	11.9	11.7	11.3	14.2
Reliq Rec	22	22	22	22	22
Pertes Gazeuses (kg/ha)	51	38	31	24	≅ 0

Parcelle 2:

Nmin à Sortie Hiver = 80kg/ha ; précédent cultural = blé (Mr = -20)

	Stratégie 1	Stratégie 2	Stratégie 3	Stratégie 4	Stratégie 5
Rendement	98	97	98	98	98
%Pi	9.9	10.4	10.5	10.9	12.0
Reliq Rec	21	21	21	21	21
Pertes Gazeuses (kg/ha)	51	38	31	17	≅ 0

Le modèle pour comparer des options techniques: Stratégies de fractionnement de l'engrais azoté (Azodyn)

(Jeuffroy, 2001)

	Stratégie 1		Stratégie 2		Stratégie 3		Stratégie 4		Stratégie 5	
	15/2	60	15/2	60	15/2	0	15/2	0	15/2	0
	20/3	120	20/3	80	20/3	160	15/3	120	1/04	140
	8/5	40	8/5	80	8/5	60	1/5	100	15/5	80

Parcelle 1:

Nmin à Sortie Hiver = 30kg/ha ; précédent cultural = féverole (Mr = 30)

Rendement	95	87	98	97	86
%Pi	10.7	11.9	11.7	11.3	14.2
Reliq Rec	22	22	22	22	22

Pertes

Gazeuses (kg/ha)	51	38	31	24	≈ 0
------------------	----	----	----	----	-----

Parcelle 2:

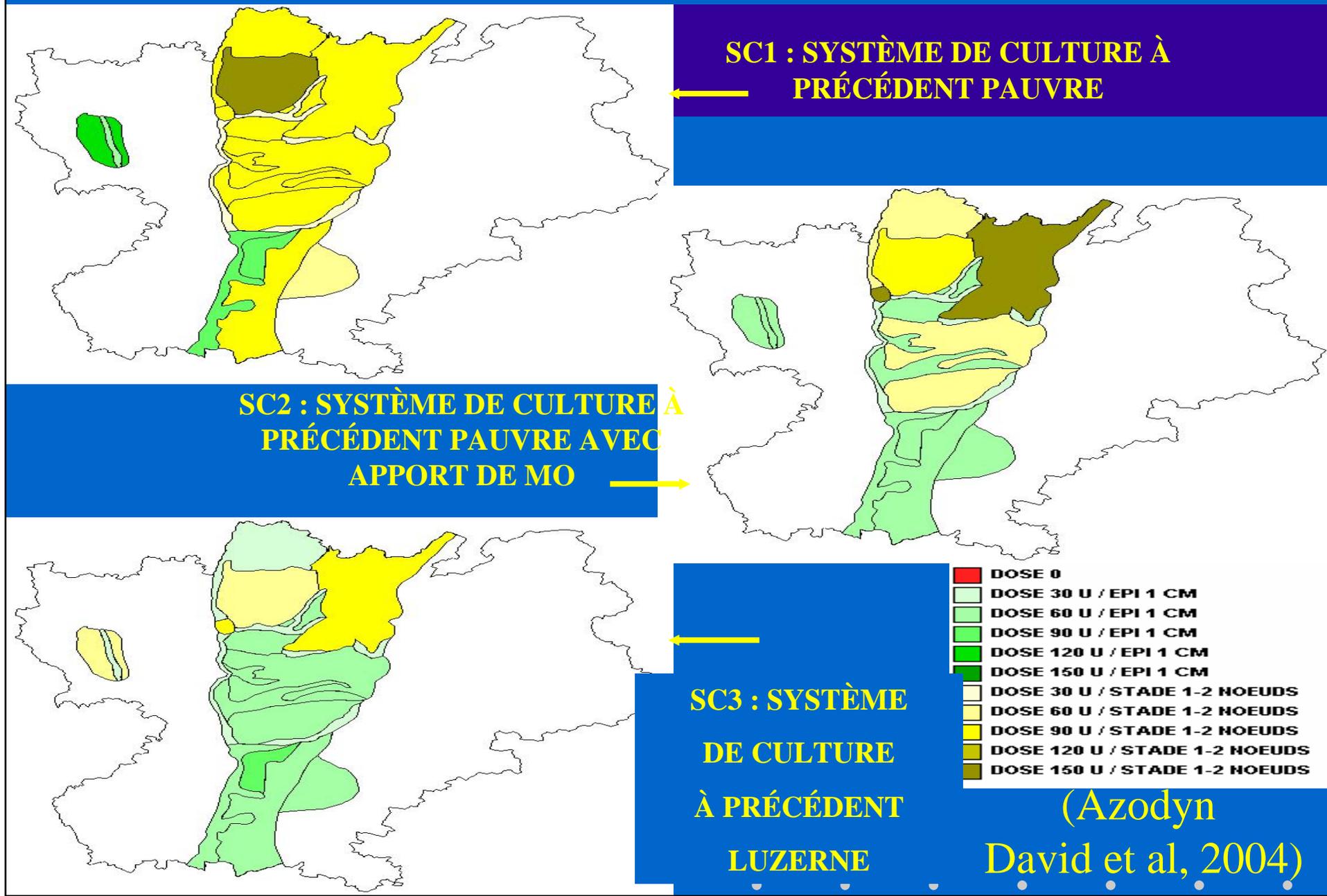
Nmin à Sortie Hiver = 80kg/ha ; précédent cultural = blé (Mr = -20)

Rendement	98	97	98	98	98
%Pi	9.9	10.4	10.5	10.9	12.0
Reliq Rec	21	21	21	21	21

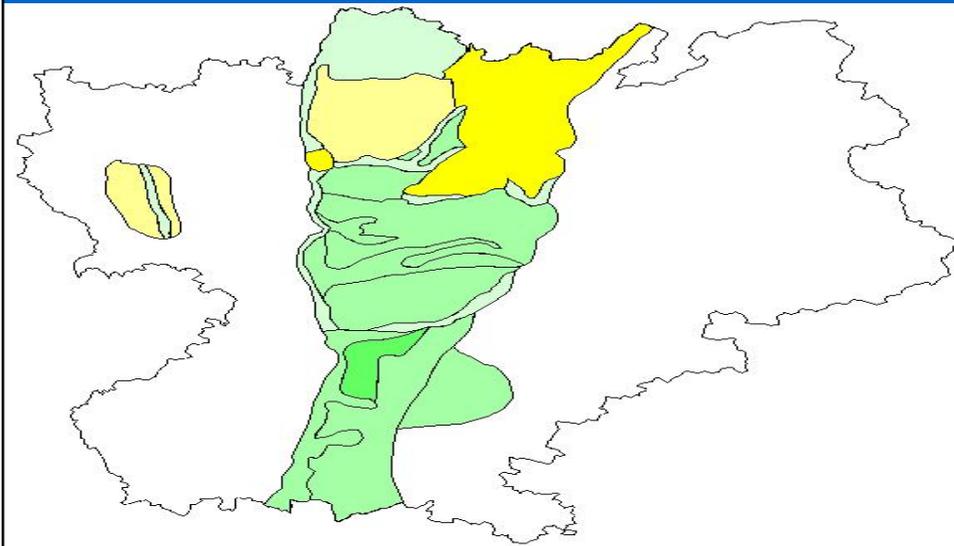
Pertes

Gazeuses (kg/ha)	51	38	31	17	≈ 0
------------------	----	----	----	----	-----

Effet du système de culture sur la définition des stratégies optimales d'apport de fertilisants organiques en cours de végétation (pas d'adventices)

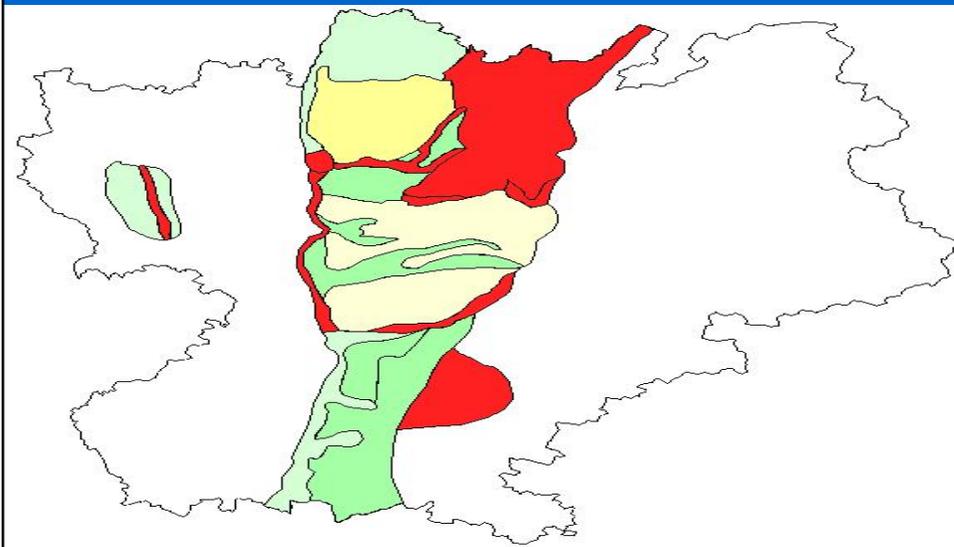


EFFET DES FACTEURS LIMITANTS SUR LES STRATEGIES OPTIMALES



**SYSTÈME DE CULTURE 3 À
PRÉCÉDENT LUZERNE SANS
ADVENTICES**

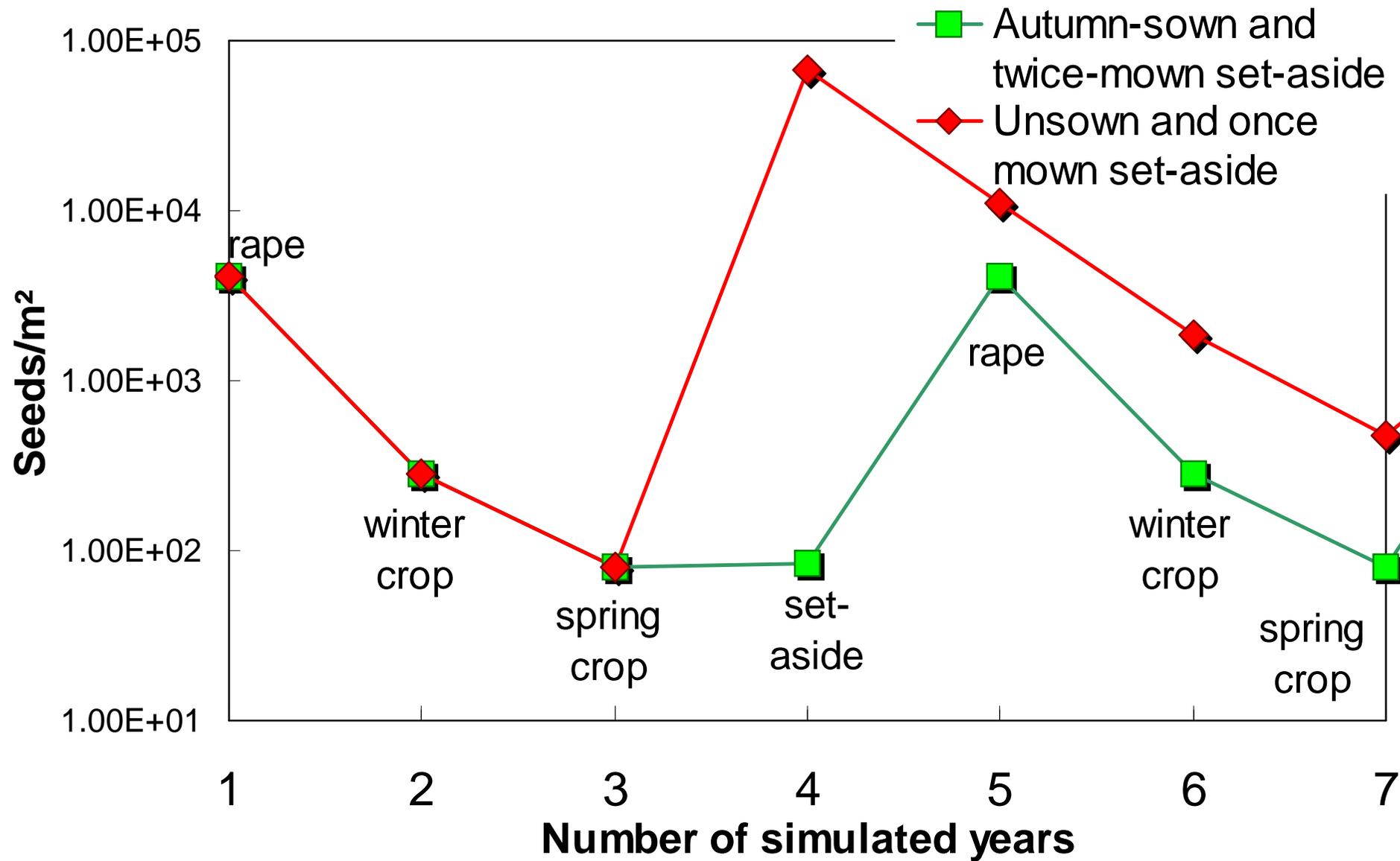
	DOSE 0
	DOSE 30 U / EPI 1 CM
	DOSE 60 U / EPI 1 CM
	DOSE 90 U / EPI 1 CM
	DOSE 120 U / EPI 1 CM
	DOSE 150 U / EPI 1 CM
	DOSE 30 U / STADE 1-2 NOEUDS
	DOSE 60 U / STADE 1-2 NOEUDS
	DOSE 90 U / STADE 1-2 NOEUDS
	DOSE 120 U / STADE 1-2 NOEUDS
	DOSE 150 U / STADE 1-2 NOEUDS



**SYSTÈME DE CULTURE 3 À
PRÉCÉDENT LUZERNE AVEC
ADVENTICES MAL MAITRISEES**

(Azodyn
David et al, 2004)

Simulations GeneSys: Effet du mode d'entretien de la jachère (Colbach et al)



Simulations GeneSys:

Effet de différentes techniques sur les contaminations de colza non OGM par du colza OGM

Simulation	Proportions of GM seeds in Non GM Rapeseed	
	Harvest	Seed production
Control	1.00	1.00
Sowing delay	0.22	
Border cutting	0.81	
Selective herbicide	1.24	14.69
Spring set-aside	0.01	
Clustered farm	0.00	

Angevin et al, 2003

-
-
-

De l'exploration de solutions techniques à l'aide à la décision

- **Cas 1** : le modèle est intégré à un outil d'aide à la décision, diffusé ou consultable sur internet; l'utilisateur renseigne l'outil sur sa situation et celui-ci détermine ce qu'il convient de faire (une solution conseillée, ou plusieurs alternatives avec avantages et inconvénients);
- **Cas 2**: le modèle sert à générer des règles d'action, des cas types, des références, des exemples qui aident à réfléchir; il n'est pas diffusé ni consultable au cas par cas.

•
L'action et le recueil de l'information par les agriculteurs est organisé sur la base de « procédures de routine » (Cerf, 1996):

- règles d'action simples applicables dans la majorité des cas, et recueil de l'information nécessaire pour activer ces règles
- recueil d'information permettant d'identifier les cas non redevables de la procédure de routine, sur lesquels on activera des règles plus complexes

Utilisation de modèles pour la fabrication:

De règles simples applicables aux situations de routine

De règles pour identifier les situations dans lesquelles

les règles simples sont inappropriées

De règles plus complexes pour les situations atypiques

-
-
-

2- A quelles conditions les modèles peuvent-ils servir à d'autres qu'à leurs concepteurs?

- **2.1. Nature des variables d'entrée et de sortie**
- **2.2. Portabilité du modèle: possibilité de l'utiliser dans des situations différentes de celles dans lesquelles il a été mis au point**
- **2.3. Sensibilité et robustesse du modèle**

-
-
-

2.1. Nature des variables d'entrée et de sortie

- **Variables d'entrée accessibles à l'utilisateur:**
 - cas d'un modèle conçu dans une logique de recherche, et proposé aux acteurs du développement;
 - Concevoir des modules permettant de générer des valeurs plausibles pour les variables d'entrée non disponibles
- **Variables de sortie pertinentes pour l'utilisation prévue:**
 - plus exigeant pour l'exploration de scénarios que pour la prévision
- **Relation entre variables d'entrée et de sortie:**
 - un modèle qui ne prend en charge qu'une partie des effets d'une technique n'est pas utilisable pour raisonner cette technique; exemple du travail du sol

- **2.2. Portabilité du modèle: possibilité de l'utiliser dans des situations différentes de celles dans lesquelles il a été mis au point**

- **« Domaine de validité » , connu d'après les processus pris en compte dans le modèle**
 - Exemples: prise en compte des maladies cryptogamiques dans Azodyn; prise en compte des pertes de graines par le transport dans GeneSys
- **Coût d'évaluation du modèle**
 - Coût de l'obtention des données indispensables à son évaluation
 - Utilisation de bases de données existantes
- **Coût d'adaptation des paramètres à de nouvelles situations**
 - Coût de l'obtention des données nécessaires à l'estimation des paramètres

Modalités d'estimation des paramètres variétaux concernant la dynamique d'accumulation maximale de biomasse dans un grain entre floraison et récolte (Azodyn, d'après Jeuffroy, 2002)

Analyse des processus
(bibliographie)



Variable déterminante de la
demande d'un grain =
nombre de cellules du grain

mais ...

- déterminisme non connu
- mesure difficile
- variable jamais disponible dans les essais des organismes de développement

Modalités d'estimation des paramètres variétaux concernant la dynamique d'accumulation maximale de biomasse dans un grain entre floraison et récolte (Azodyn, d'après Jeuffroy, 2002)

Analyse des processus
(bibliographie)

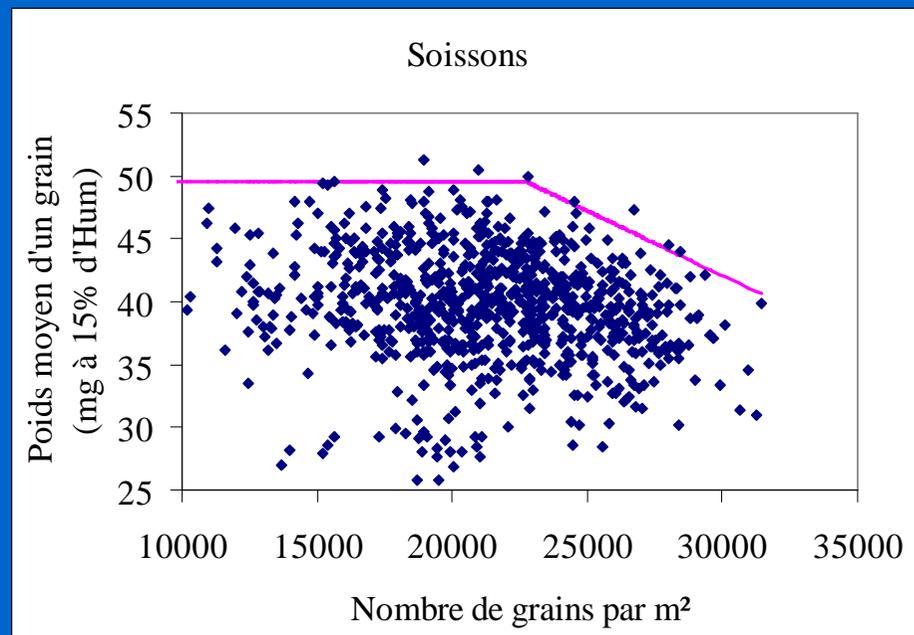
Variable déterminante de la demande d'un grain =
nombre de cellules du grain

mais ...

- déterminisme non connu
- mesure difficile
- variable jamais disponible dans les essais des organismes de développement

Version actuelle d'Azodyn

Demande d'un grain = $f(P1Gmax)$



-
-
-

2.3. Sensibilité et robustesse

Les modèles doivent:

- être sensibles aux techniques que l'on veut piloter, ou aux variables dont on veut prévoir l'effet (**Sensibilité**)
- être peu sensibles aux variables d'entrée et aux paramètres qui ne seront connus que de manière imprécise dans le contexte de l'action (**Robustesse**)
- Un modèle n'est pas intrinsèquement robuste; il ne peut être qualifié de « robuste » qu'en référence à un type d'utilisation
- Malgré tout, en tendance, moins il y a de paramètres et de variables d'entrée, moins cela coûte cher de les estimer avec précision

En guise de conclusion:

- Beaucoup de potentialités dans l'utilisation des modèles, qui sont loin d'être explorées
- Trouver un équilibre entre les modèles hyperspécialisés, qui risquent de ne pas rentabiliser l'investissement de modélisation, et les modèles généralistes, qui sont sensés tout faire, mais risquent de ne rien faire de bien