



# **Modèles dynamiques et outils d'aide à la décision, liens avec l'expérimentation**

P. Faverdin

INRA, UMR 1080 Production du lait





# Un contexte à la recherche d'outils pour aider à piloter les systèmes agricoles

- Gérer la complexité liée à des objectifs multicritères de conduite des systèmes
  - Simplifier le travail (détection, indicateurs)
  - Anticiper, prévoir
- Concevoir de nouveaux outils d'aide à la décision capables de gérer ces nouveaux enjeux





# Plan de l'exposé

- Modèles et outils d'aide à la décision
- Modèles dynamiques et AOD
- Modèles dynamiques et expérimentation





# Modèles et outils d'aide à la décision

- Les modèles ont souvent pour enjeux de construire des outils
- Faut-il un bon modèle pour faire un bon outil ?
- Faut-il concevoir le modèle spécifiquement pour un outil ?





# Aide à la Décision

Définition : «...activité de celui qui s'appuyant sur des modèles clairement explicite mais non nécessairement complètement formalisé, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se posent un acteur inclus dans le processus de décision...» B. Roy (1985)





# Les 2 types de Validation

*(Finley et Wilson 1991)*

- Validation analytique
  - validation de chaque partie du modèle
- Validation synoptique
  - Validation par l'usage
- Les différents types d'OAD et leur validation





# Validation analytique : définitions

## ○ Vérification

- le formalisme du modèle est correct
  - *mécanique (bugs programmation)*
  - *logique*

## ○ Calibration

- estimation des paramètres du modèle
- limites

## ○ Validation

- le modèle possède, dans son domaine d'acceptabilité, une précision suffisante par rapport aux objectifs du modèle



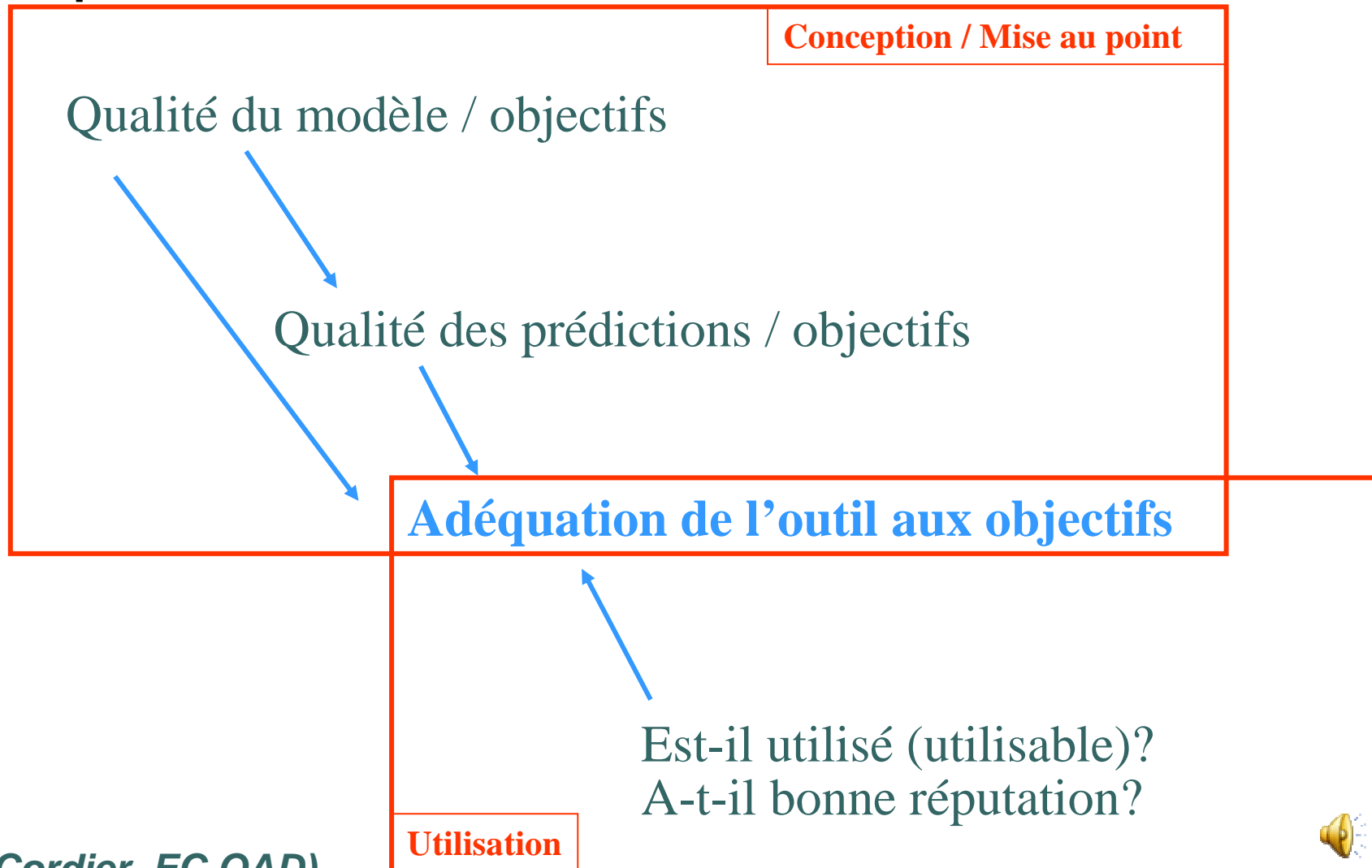
# ● ● ● | La validation synoptique

- Pas de méthodes standardisées
- A faire en fonction de l'utilisateur final
- Recherche d'indicateurs pertinents
- Validation (composante prédictive du modèle) VS évaluation (le modélisateur s'assure que le modèle est une représentation adaptée au propos de l'étude; Hodges, 1991)





# Qualité de l'outil





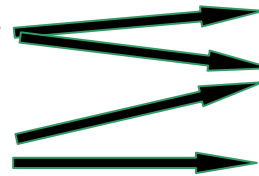
# Co-construire l'outil avec les utilisateurs : outils pâturage agrotransfert Bretagne

## Phase 1 :

- ◆ Recensement des indicateurs et outils existants

- ◆ Analyse de la demande

- ◆ Acquisition de références sur la densité et la croissance de l'herbe, nécessaires à l'élaboration des outils



Bibliographie

Entretiens

Suivi d'élevages



Valorisation de données  
acquises au sein des  
Chambres et de l'INRA

## Phase 2 :

- ◆ Élaboration de référentiels

- ◆ Développement d'outils



Simulations à partir des  
logiciels et outils existants

## Phase 3 :

- ◆ Test et validation des outils

- ◆ Transfert des outils



Communication, Formation 



# Modèles dynamiques et OAD

- Études des systèmes complexes : besoin croissant de vision dynamique
  - Importance du climat et de l'aléa
  - Interactions dynamiques entre entités des systèmes : adaptation, résilience
- La dynamique, une dimension difficile à gérer dans les OAD
  - Besoin continu d'informations
  - La dynamique : une notion difficile à matérialiser dans la décision
  - Gérer la temporalité du processus : informations – simulation – décision – actions





# Comment simplifier la gestion du temps dans les OAD ?

- En entrée
  - Simplifier les entrées
  - Automatiser la prise d'informations (capteurs, saisie automatique, acquisition internet...)
  - Discrétiser le temps
- En sortie
  - Discrétiser le temps
  - S'insérer dans une représentation du monde du décideur
  - Simplifier l'espace de la décision



# Exemples dans le cadre des outils d'aide à la gestion du pâturage

➡ Mettre au point, à destination des éleveurs laitiers bretons, des outils **simples et efficaces** d'aide à la gestion du pâturage

Les modèles utilisés (parcelles, troupeaux, conduite) sont à la base identiques

Utilisateurs ciblés :

- Éleveurs laitiers
- Conseillers de terrain (Contrôles Laitiers notamment )
- Ingénieurs d'étude des Chambres, EDE et Instituts
- Enseignement agricole





# Simplifier les entrées : herbe

◆ modèle de croissance  
herbe fonction de données  
climatique et pédologique

Ou ?

◆ modèle standard  
contextualisé de  
croissance

◆ Analyse de l'offre  
et de la demande

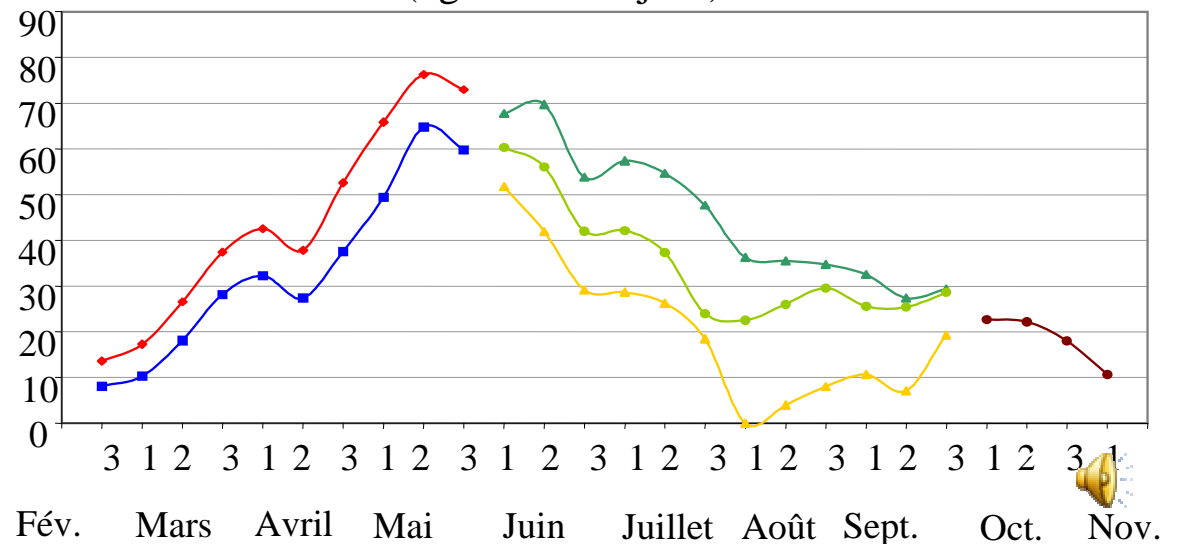


Besoins d'outils précis et  
efficaces mais simples et  
d'utilisation rapide

◆ Acquisition de  
références sur densité  
et croissance de l'herbe

◆ Adaptation du modèle  
à ce référentiel

Croissance de l'herbe (kg MS / ha / jour)





# Simplifier les entrées : ingestion

1) Biomasse + surface  $\Rightarrow$  hauteurs entrée (HE) + sortie (HS)  
**kg**  $\Rightarrow$  **cm**

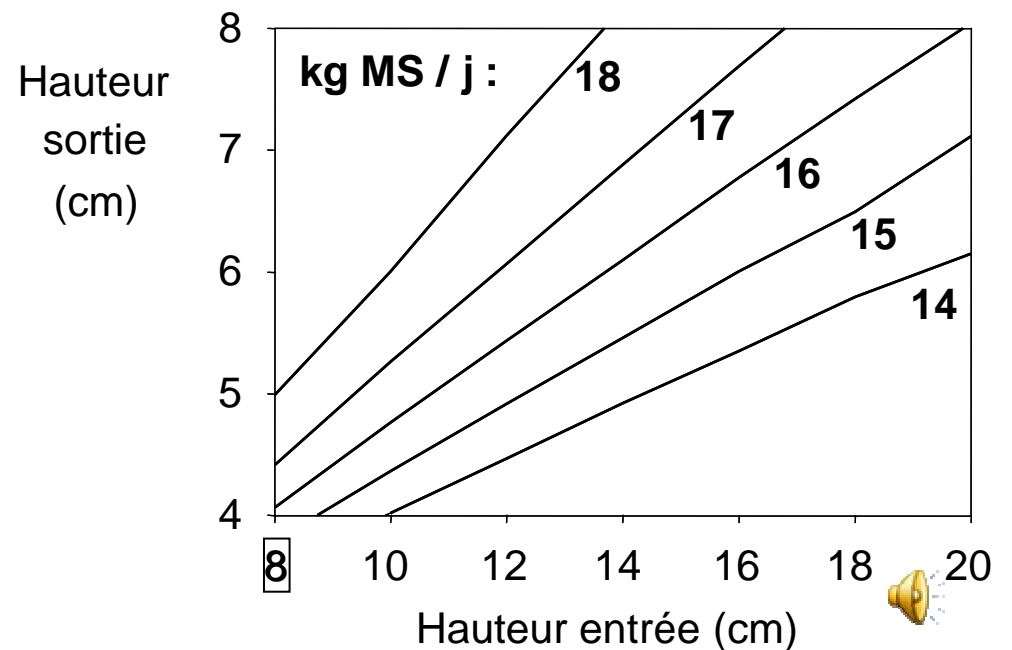
*Synthèse données expérimentales  $\Rightarrow$  équation passage  
(UMRPL Méjusseaume + Le Pin-au-Haras)*

2) Milliers de simulations sur le modèle complet

*Biomasse résiduelle  $\Rightarrow$  hauteur sortie*

3) Développement de régressions multiples

*Ingestion herbe +  
Substitution + Surface à offrir*



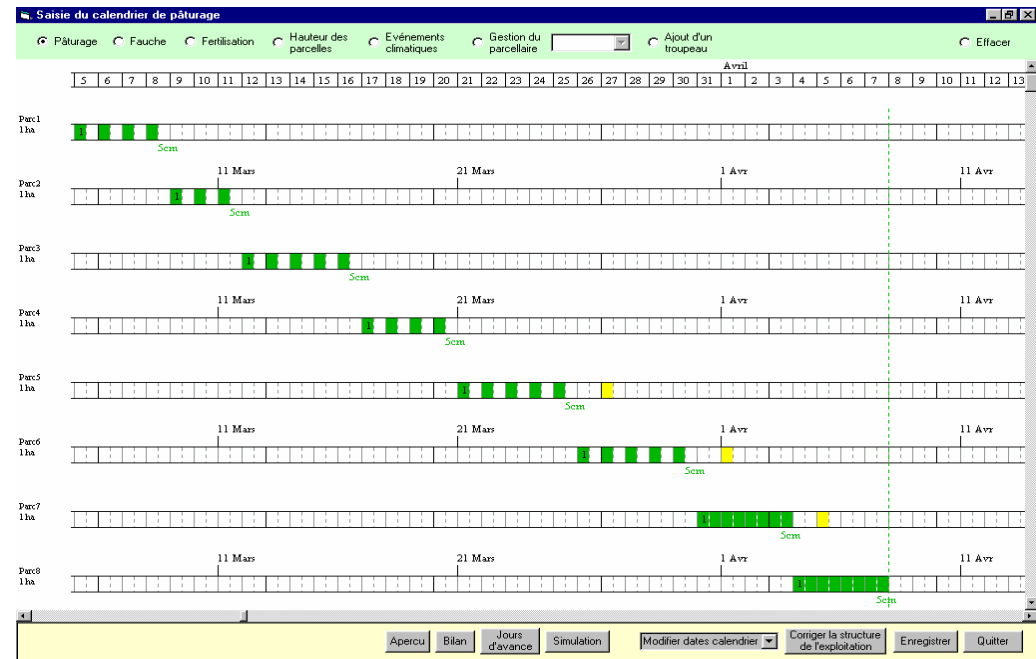
# Utiliser une représentation de la dynamique familière au décideur

Entrées et sorties se font au travers du calendrier de pâturage familier à l'éleveur : dimension spatiale et temporelle

Enregistrement des événements concernant les prairies

Vision globale

Simulation du calendrier de pâturage prévisionnel



➔ S'adresse à des éleveurs motivés par le pâturage





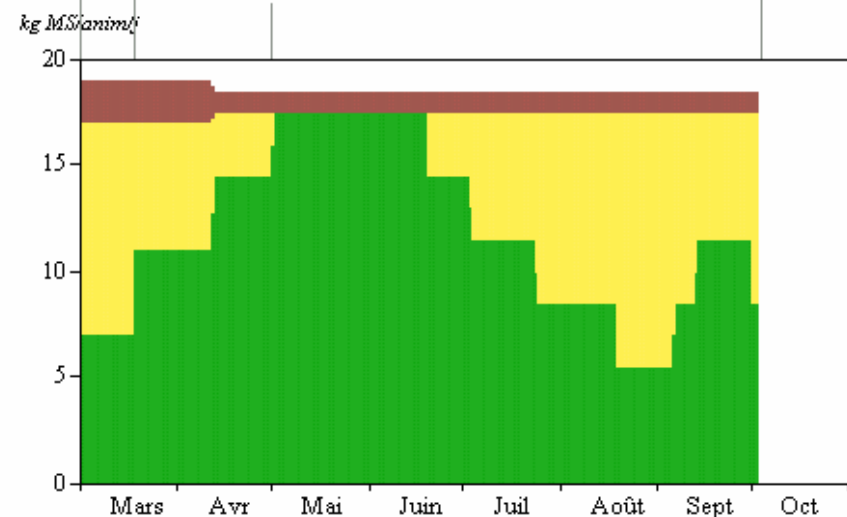
### Exploitation essai

Troupeau Troup1  
Surface 16 ha

## Bilan du réalisé du 01/03/2005 au 02/11/2005

Ce bilan n'est valable que si les paramètres de pâturage, fauche et fertilisation ont été correctement remplis

### Calendrier Fourrager



■ Pâturage ■ Fourrages ■ Concentrés

kg MS / animal	4379	1608	430
tonnes MS	109.5	40.2	10.7

Nombre de jours de pâturage : 8612 jours  
Nombre de jours de pâturage par hectare : 538 jours

### Herbe récoltée

	Foin	Enrubannage	Ensilage	Deshydraté	Vert	Total
tonnes MS / ha	0	0	0	0	0	0
tonnes MS	0	0	0	0	0	0

### Rendement valorisé des prairies

tonnes MS / ha | 6.8

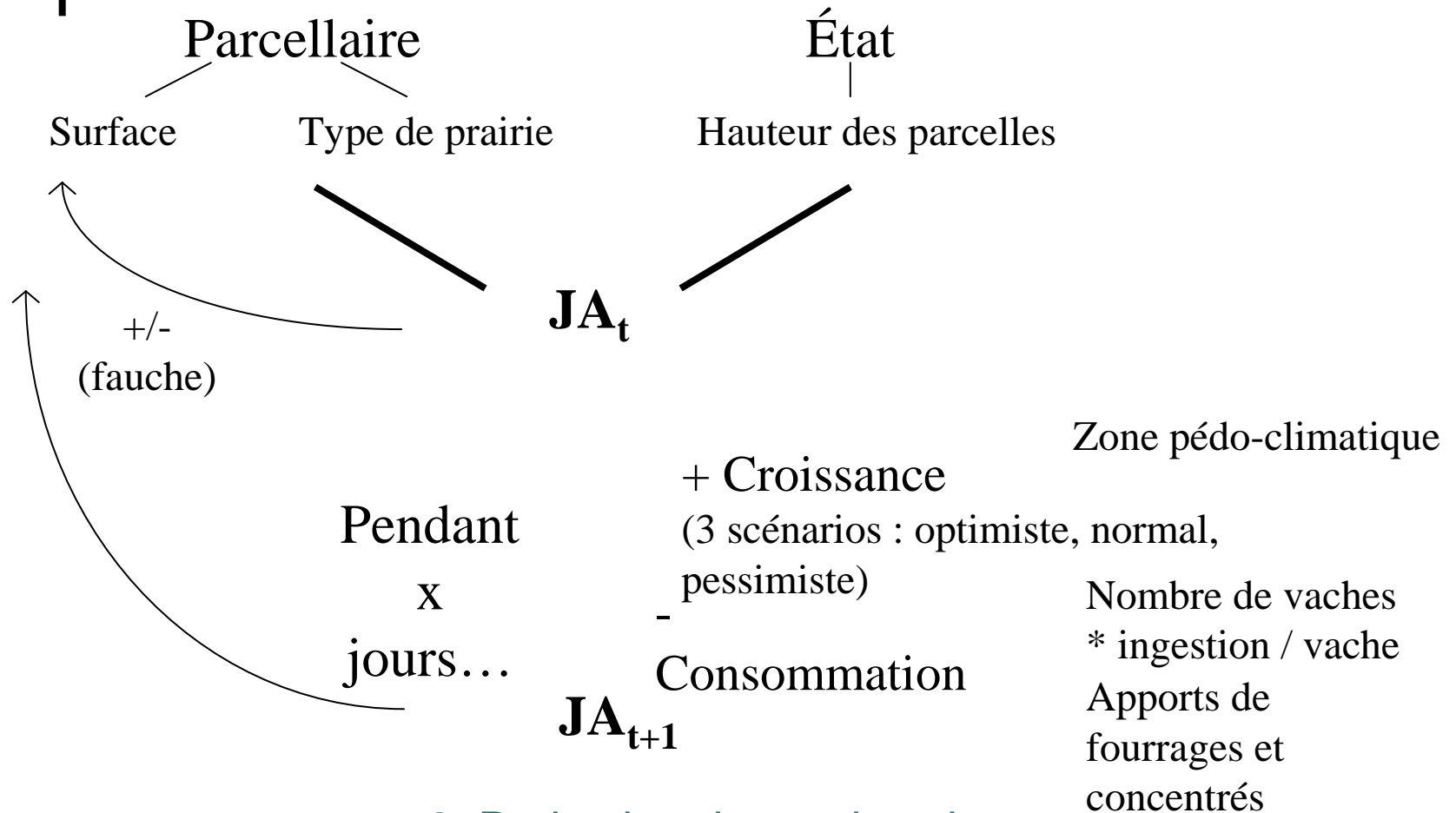
### Fertilisation

	Minéral (kg)		Fumier (tonnes)				Lisier (m3)	
	Ammo	Urée	Bov	Porc	Vol	Compost	Bov	Por
par ha	60	0	0	0	0	0	0	0
par ha fertilisé	120	0	0	0	0	0	0	0
au total	960	0	0	0	0	0	0	0

	Azote (N)	Phosphore (P2O5)	Potasse (K2O)
kg / ha	20	0	0
kg / ha fertilisé	40	0	0
kg au total	320	0	0



# Discrétiser le temps de saisie des informations et de la décision (demande CL)



1. Calcul du nombre de jours d'avance

2. Projection du nombre de jours d'avance selon la gestion du pâturage



# Discrétiser le temps de saisie des informations et de la décision

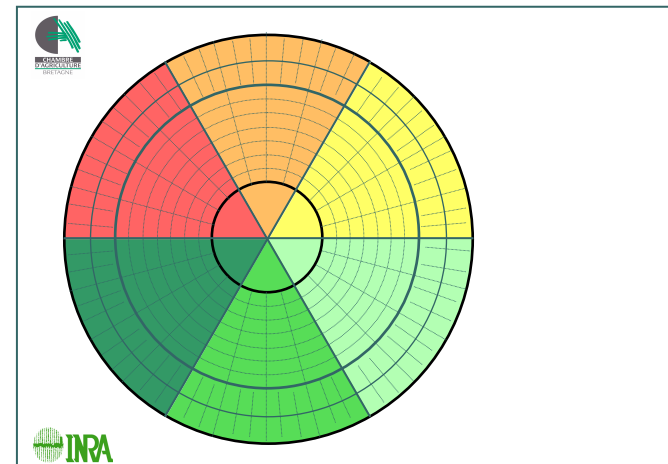
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P		
1	<b>SAISIE</b>											<b>RESULTATS</b>						
2																		
3	<b>Aujourd'hui</b>						<b>Et à l'avenir...</b>					<b>Aujourd'hui</b>			<b>01/07/04</b>			
4	<b>Date</b>		<b>01/07/2004</b>				<b>Pendant...</b>		<b>25 jours</b>		<b>30 jours</b>			<b>Avec toute la surface</b>			<b>8.95 ha</b>	
5	Haut. sortie envisagée		6.0 cm				Fourrage distribué		0 kg MS/anim/j		8 kg MS/anim/j			Soit			36 ares/animal	
6	Type d'animaux		VL 6000 à 8000 kg				Concentrés distribués		2 kg brut/anim/j		2 kg brut/anim/j			<b>Jours d'avance</b>			<b>32</b>	
7	Nb d'animaux pâturant		25				Nb d'animaux pâturant		25					Stock d'herbe / animal (kg MS/anim)			548	
8																		
9	<b>Mesures</b>					<b>Autres utilisations des parcelles</b>					<b>Date fauche ou Date sortie anim</b>							
10	N°	Nom Parc	Surf	Haut (cm)	JA													
11	1	P1	1.2	10.1	2.5													
12	2	P2	1.1	14.8	4.8													
13	3	P3	1.1	14.5	4.6													
14	4	P4	1.1	25.0	10.3													
15	5	P5	1.3	14.0	5.4													
16	6	P6	1.0	9.4	1.8													
17	7	P7	1.0	7.4	0.7													
18	8	P8	1.3	9.1	2.1													
19	9																	
20	10																	
21	11																	
22	12																	
23	13																	
24	14																	
25	15																	
26	16																	
27	17																	
28	18																	
29	19																	
30	20																	
	Structure \ Saisie et résultats / Paramètres /																	

## Simplification de l'espace du problème et de la décision

### Apprentissage sur le modèle, traduction en relations simple, matérialisation par jeu de disques

A partir de 4 indicateurs très simples :

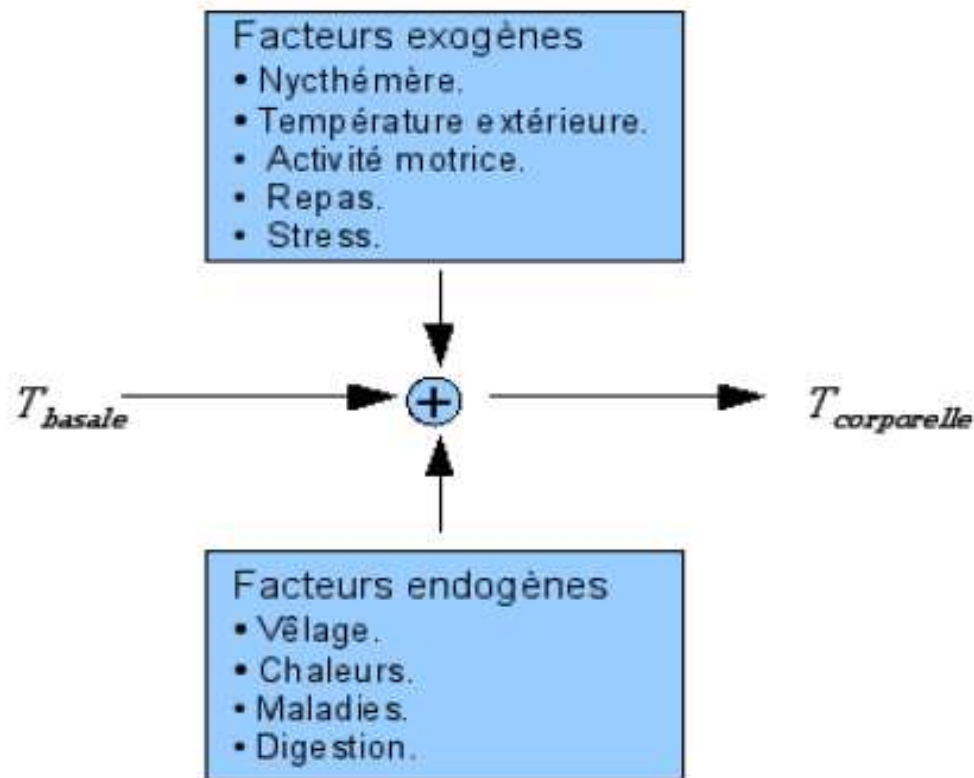
- Indique le nombre de jours d'avance
- Prévoit l'évolution de ce nombre sous des conditions fixes



→ Permet une utilisation par des éleveurs non informatisés, non adhérents au Contrôle Laitier...



# Gérer la temporalité du processus : informations – simulation – décision



Modélisation des évènements par apprentissage (santé – reproduction)

- Acquisition automatique des informations
- Filtrage et Traitement de signal
- Identification de chroniques significantes
- Signalisation d'évènements

Détection spécifique et sensible tout en signalant les évènements avec un délai compatible avec l'action





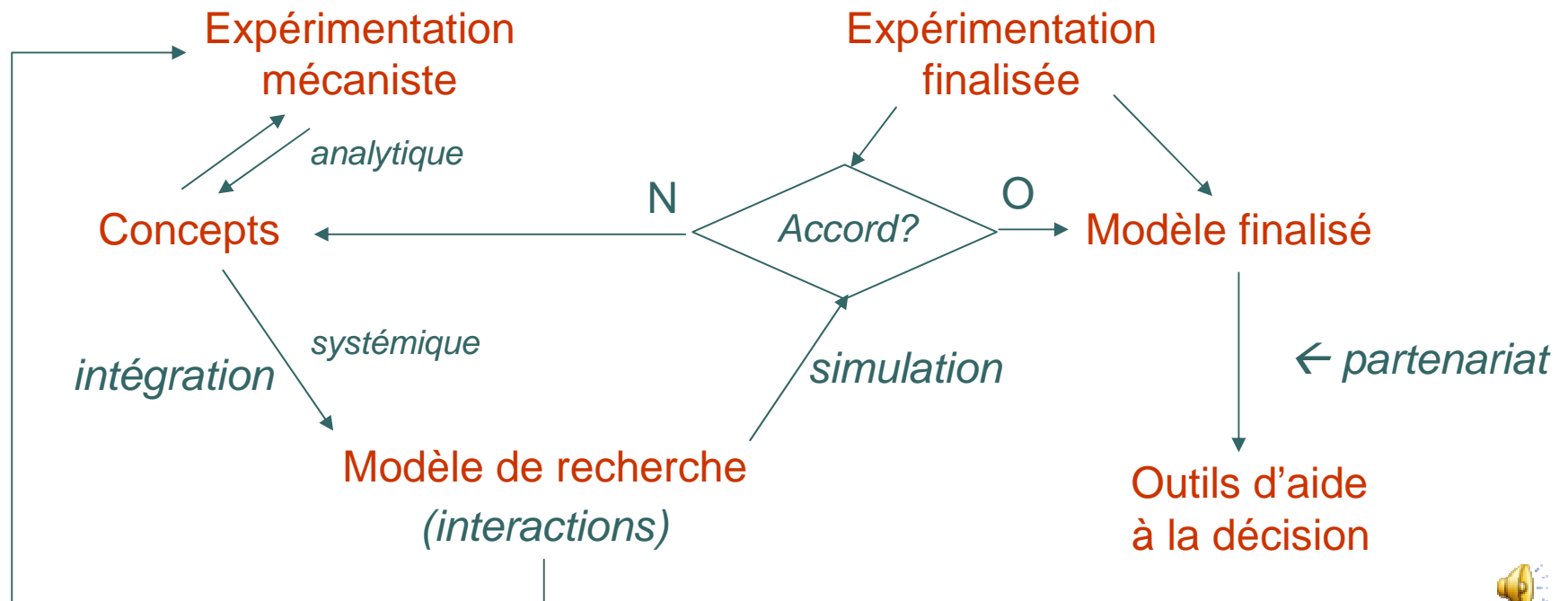
# Modèles et expérimentation

- Interactions expérimentation-modèle : une relation étroite et complexe pour les systèmes biologiques
- Etude des systèmes agronomiques complexes : Expérimentations virtuelles et réelles



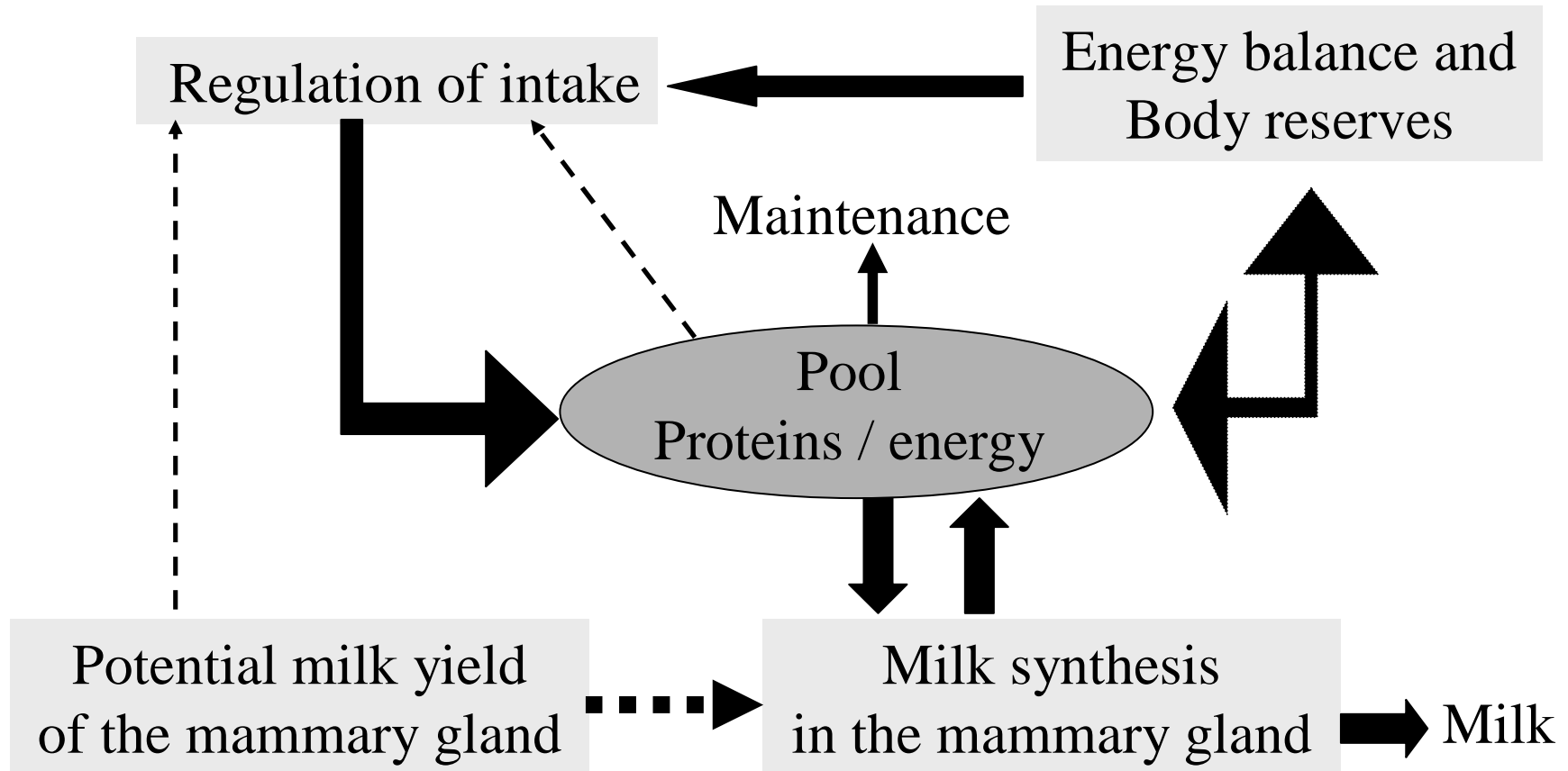
# Diversité des interactions modèles-expérimentation

Interactions « expérimentations - modèles - outils » à différents niveaux d'organisation (mamelle, animal, système de production)





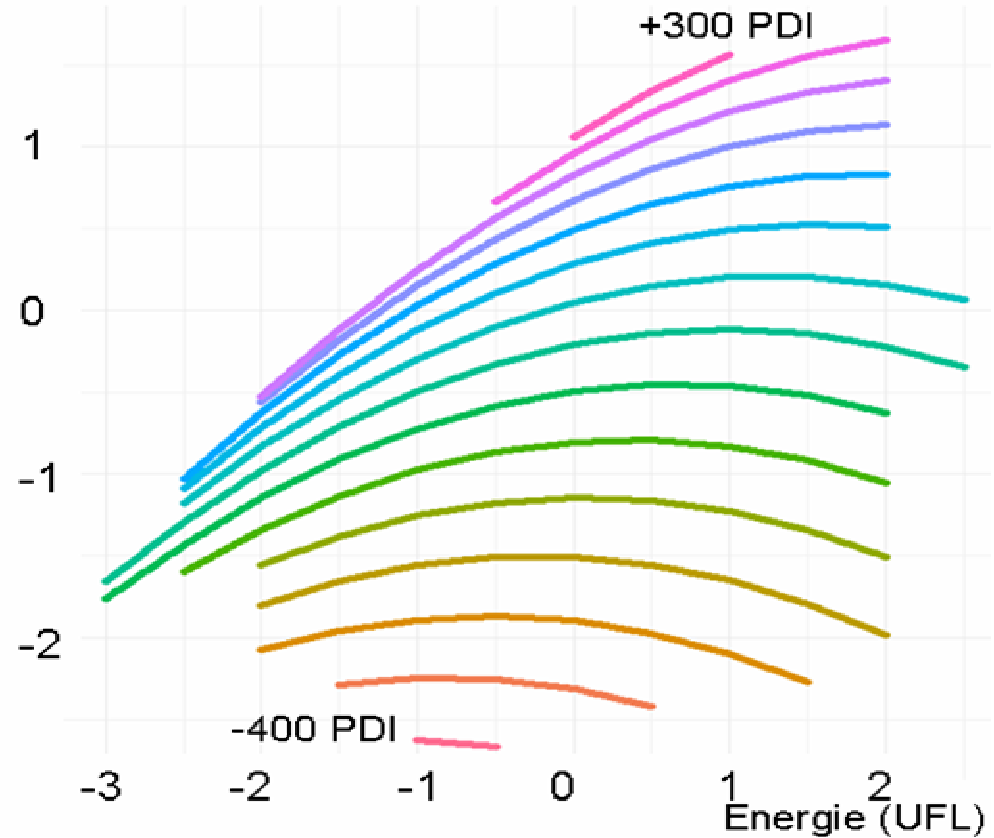
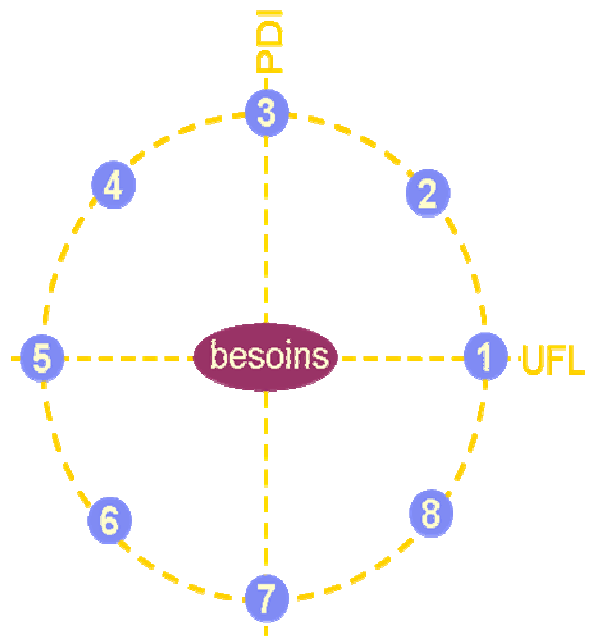
# Modèle conceptuel lactation



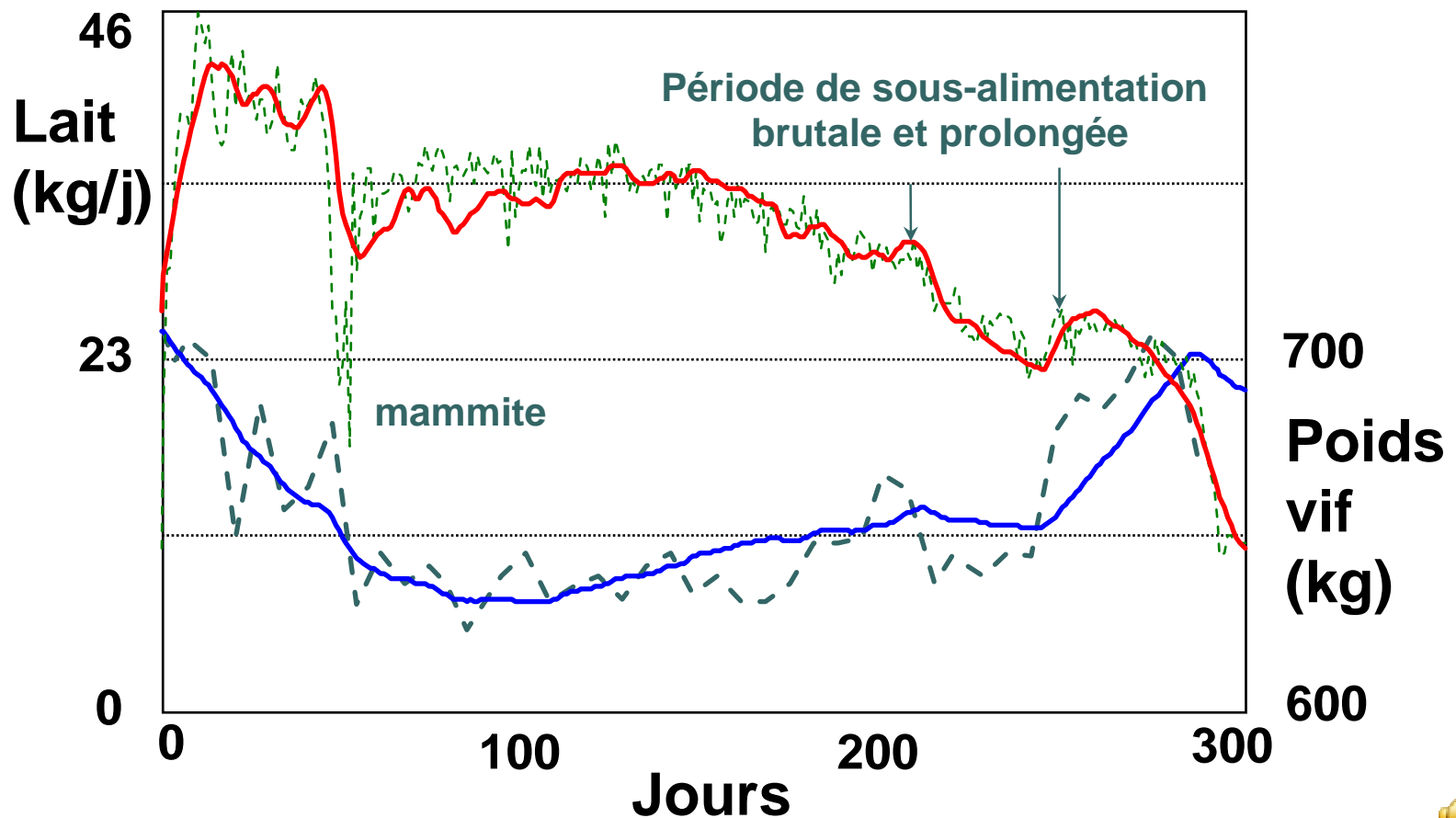


# Réponse simultanée de la production laitière à l'énergie et aux protéines

Mise en place d'une expérimentation spécifique et originale pour pouvoir prédire la variation de lait en fonction de pratique alimentaires

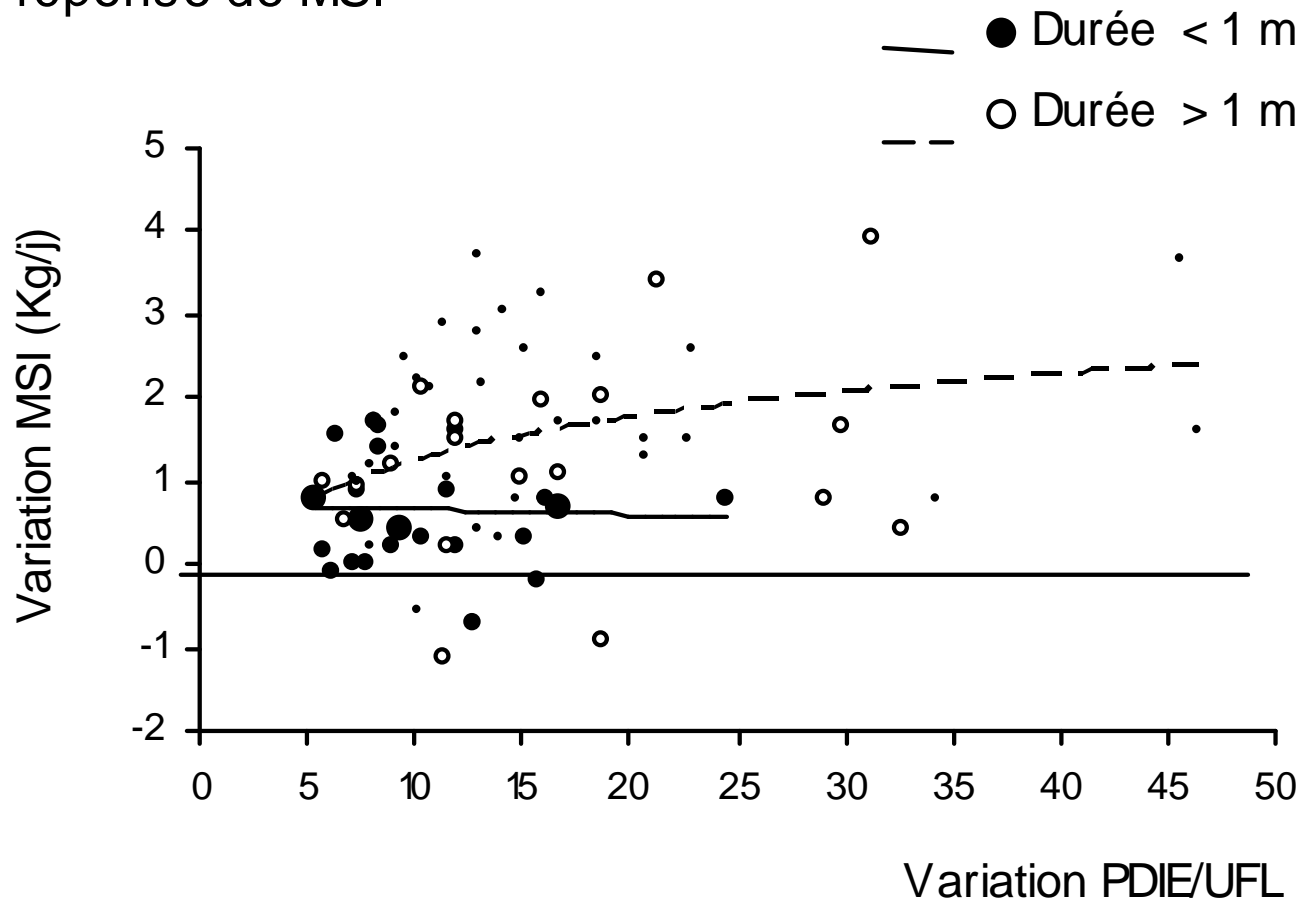


# Modélisation la réponse de la vache à la conduite d'élevage



# Étude des interactions, lois de réponse : intérêt des Méta-analyses

Influence de la durée des essais en la réponse de MSI





# Étude des systèmes agronomiques complexes

- Études des systèmes agronomiques de plus en plus complexe
  - Multifactoriels (nombreux leviers d'actions)
  - Multicritères (évaluation sur des indicateurs nombreux et divers : économie, environnement, qualité des produits,...)
- Besoin de représentation des décisions
- L'expérimentation a-t-elle encore une place ?
- La modélisation a-t-elle les moyens de relever ces défis ?



# Complémentarités modélisation, expérimentations, observations de systèmes

## Approche expérimentale

- Essais "mini fermes"
- Expérimentation système

- + faisabilité
- + observations réelle
- coûts
- peu de systèmes
- définition des systèmes ?

## Approche modélisation

- Modèle de l'exploitation

- + Diversité
- + Coûts
- + Comparer
- + Nombreuses variables

- Fermes virtuelles
- Dimension sociale ?
- Validité ?

## Approche réseau

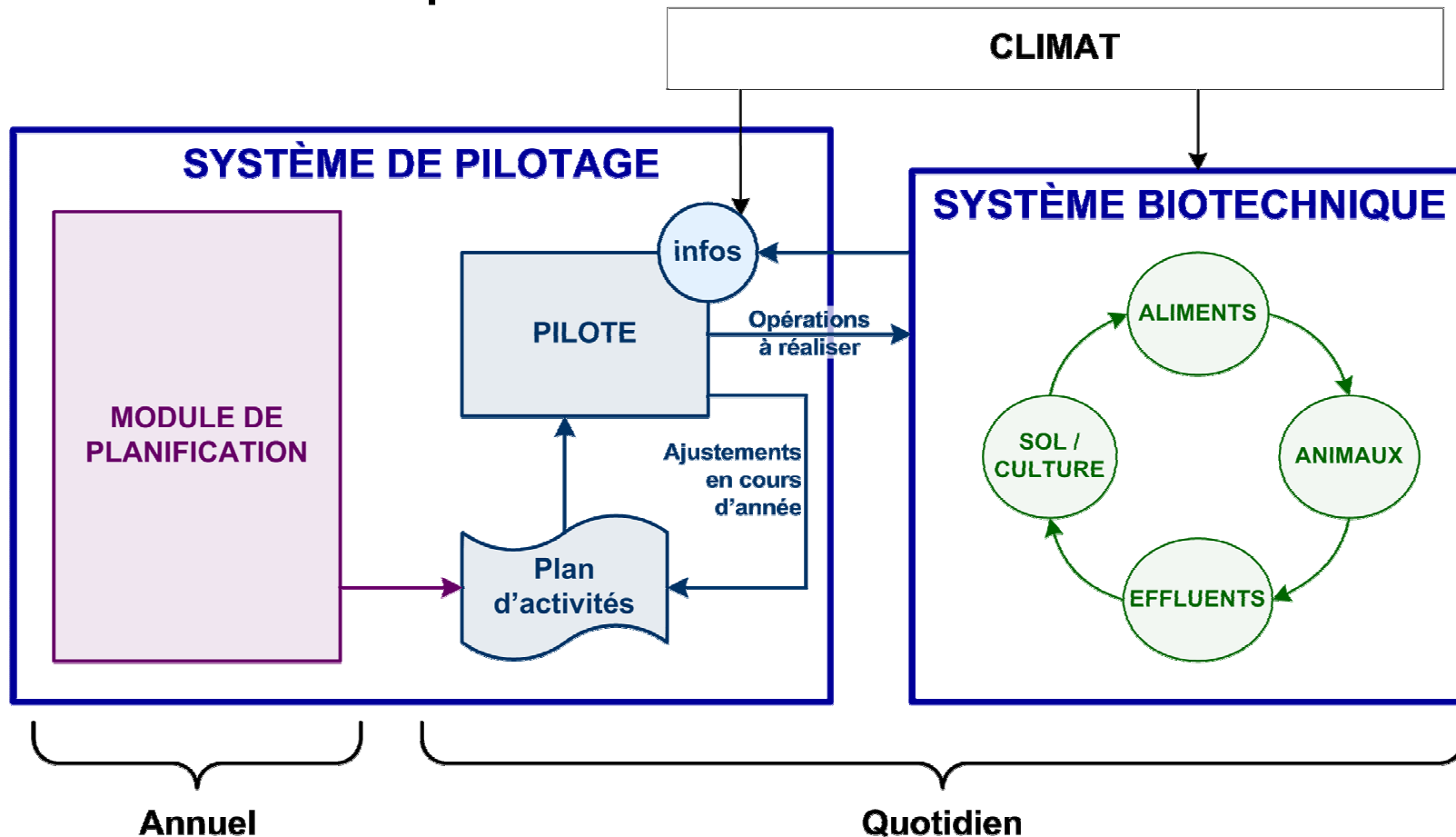
- Diversité d'exploitations
- Methodologie d'acquisition infos

- + Diversité des fermes
- + observations réelles
- Coûts
- difficulté de comparer
- pas d'expérimentation
- variables difficiles à mesurer



# Modélisation de la décision

## Exemple de Mélodie





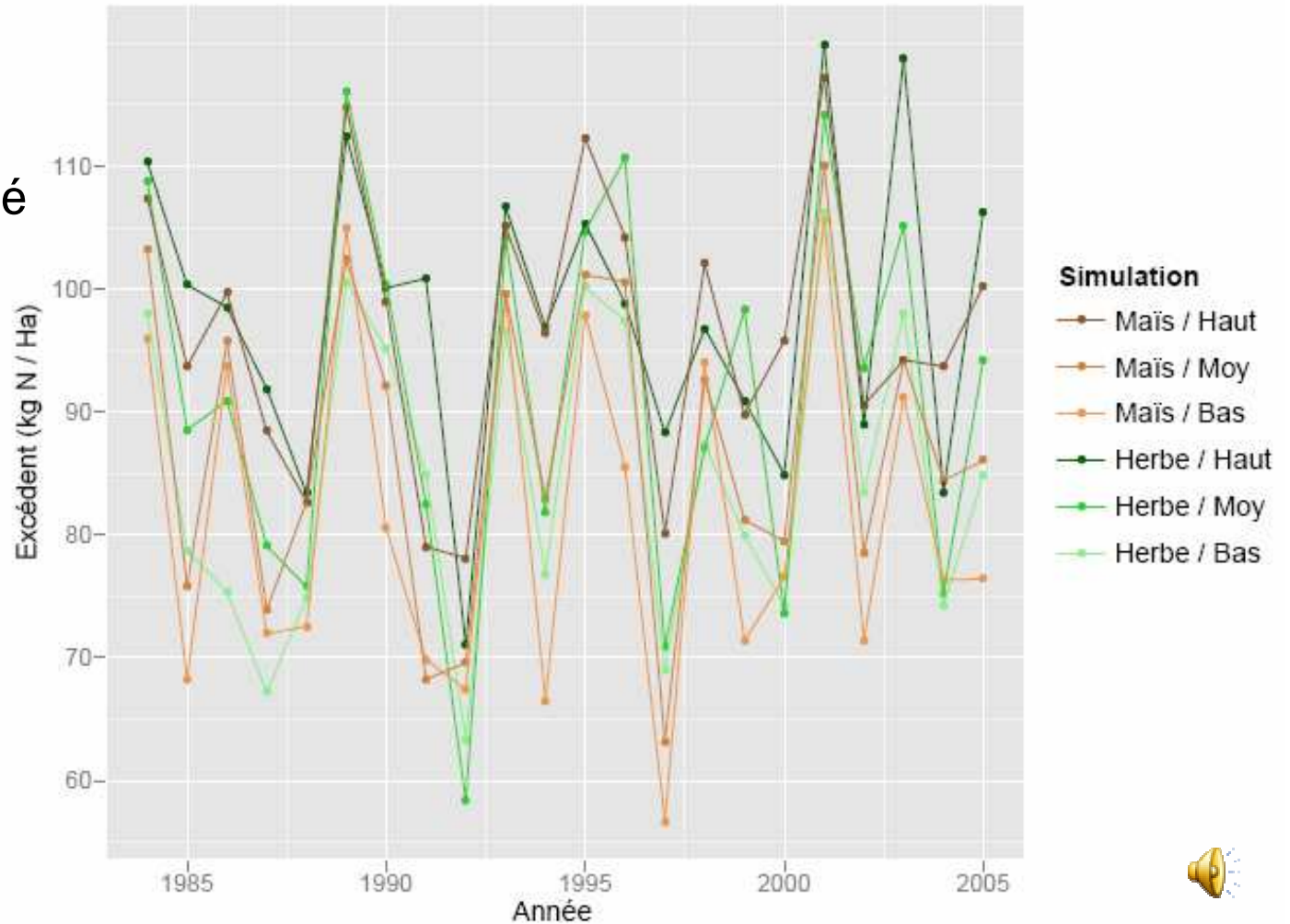
# Intérêts de l'expérimentation virtuelle

- Rendre observable en dynamique de nombreuses variables, souvent difficiles à mesurer
- Possibilité de construire des plans d'expérience multifactoriels difficilement réalisables expérimentalement
- Possibilité d'étudier l'aléa
- Optimisation mono ou multicritère



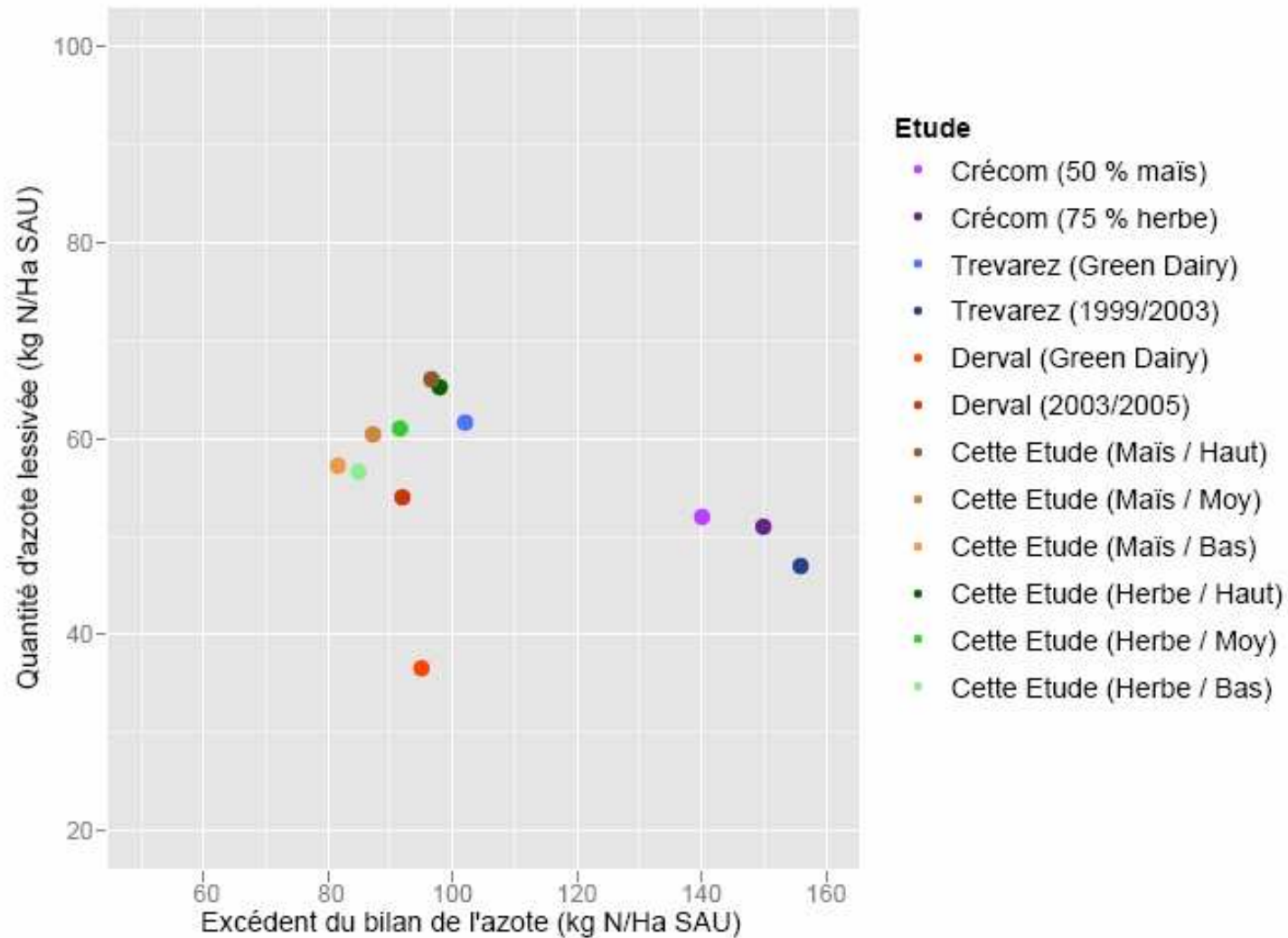
# Simulation du bilan N d'exploitations laitières

La variabilité inter-annuelle simulée dépasse la variabilité inter-système

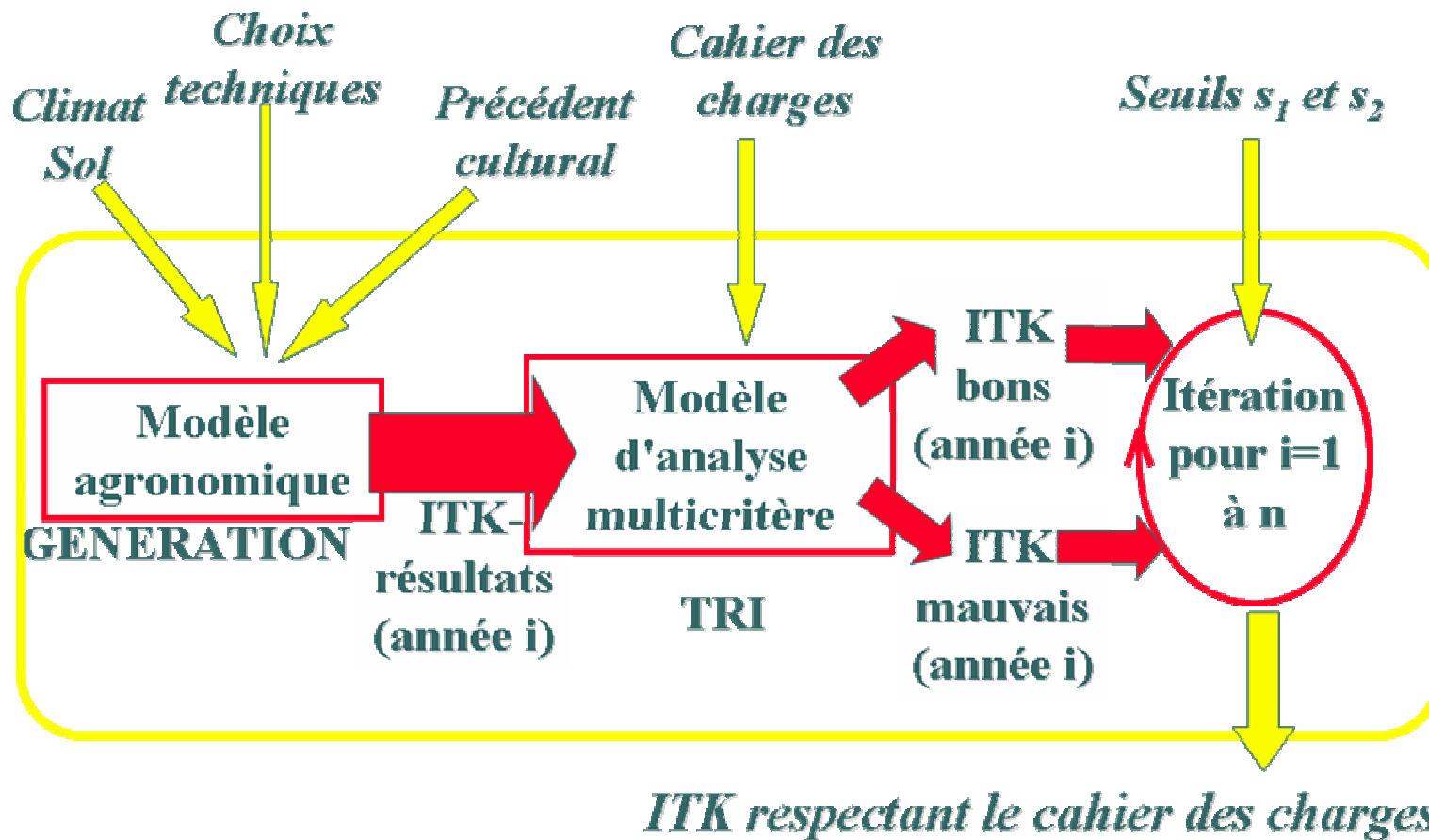




# Comparaisons simulateur – essais systèmes



# Optimisation multicritère : construire un nouvel ITK (Betha)






# Utiliser des modèles complexes

- Étude de leur comportement : mise en avant des propriétés émergentes
  - Analyses de sensibilité
  - Plans d'expérience
- Étude de la sensibilité aux aléas (climatiques, économiques) : capacités de résilience
- Définition d'expérimentation systèmes
- Construction d'outils, de références, de règles
  - Apprentissage (Saccadeau)
  - Référentiels multicritères contextualisés (type de système d'exploitation, de climat, de sols...)





# Conclusions

- Le développement de l'étude des systèmes complexes s'accompagne de modèles eux-mêmes complexes
  - Dynamique, spatialisation, décisions
  - Limites de l'expérimentation classique
  - La décision s'accommode mal de la complexité tout en y étant très liée
- Les modèles complexes deviennent des objets d'études
  - Apprentissage sur les modèles
  - Évaluations expérimentales ou descriptives des combinaisons intéressantes
  - Réduction de la complexité à des objets manipulables par le décideur
    - travailler sur la décision avec le décideur 



Merci de votre attention

