



# Le changement climatique : incertitudes et opportunités pour les prairies et les systèmes fourragers

Journées AFPF (26 - 27 mars 2013 – Paris)

## Adaptation des systèmes d'élevage bovins au changement climatique : intérêts, limites et perspectives des approches de modélisation

A.I. Graux<sup>1</sup>, J.C Moreau<sup>2</sup>, H. Raynal<sup>3</sup>, F. Ruget<sup>4</sup>, P. Carrère<sup>1</sup>,  
P. Faverdin<sup>5</sup>, D. Hill<sup>6</sup>

1 : INRA UR EP, 2 : Institut élevage, 3 : INRA UR BIA, 4 : INRA UR Agroclim,  
5 : INRA UMR PEGASE, 6 : LIMOS

## Pourquoi la modélisation ?

- Formaliser et structurer les connaissances sur le fonctionnement des systèmes étudiés
- Considérer les effets de multiples facteurs seuls ou en interaction & intégrer les boucles de rétroaction connues
- Observer un grand nombre de variables de façon dynamique
- Accéder à des pas de temps longs

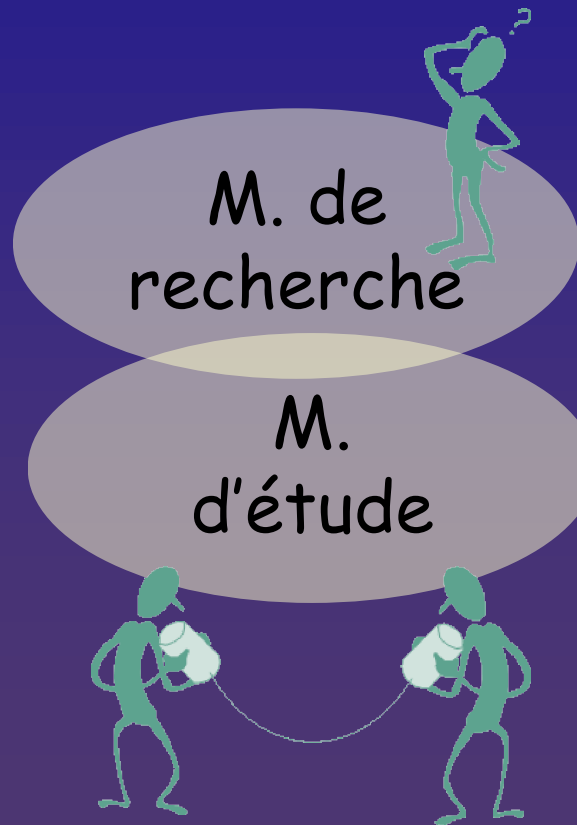
En particulier pour étudier ...

- les impacts du changement climatique sur les systèmes d'élevage
- les conséquences de scénarios d'adaptation sur la production de ces systèmes et l'environnement

## Cadre de l'étude

### Principales approches de modélisation développées par la Recherche

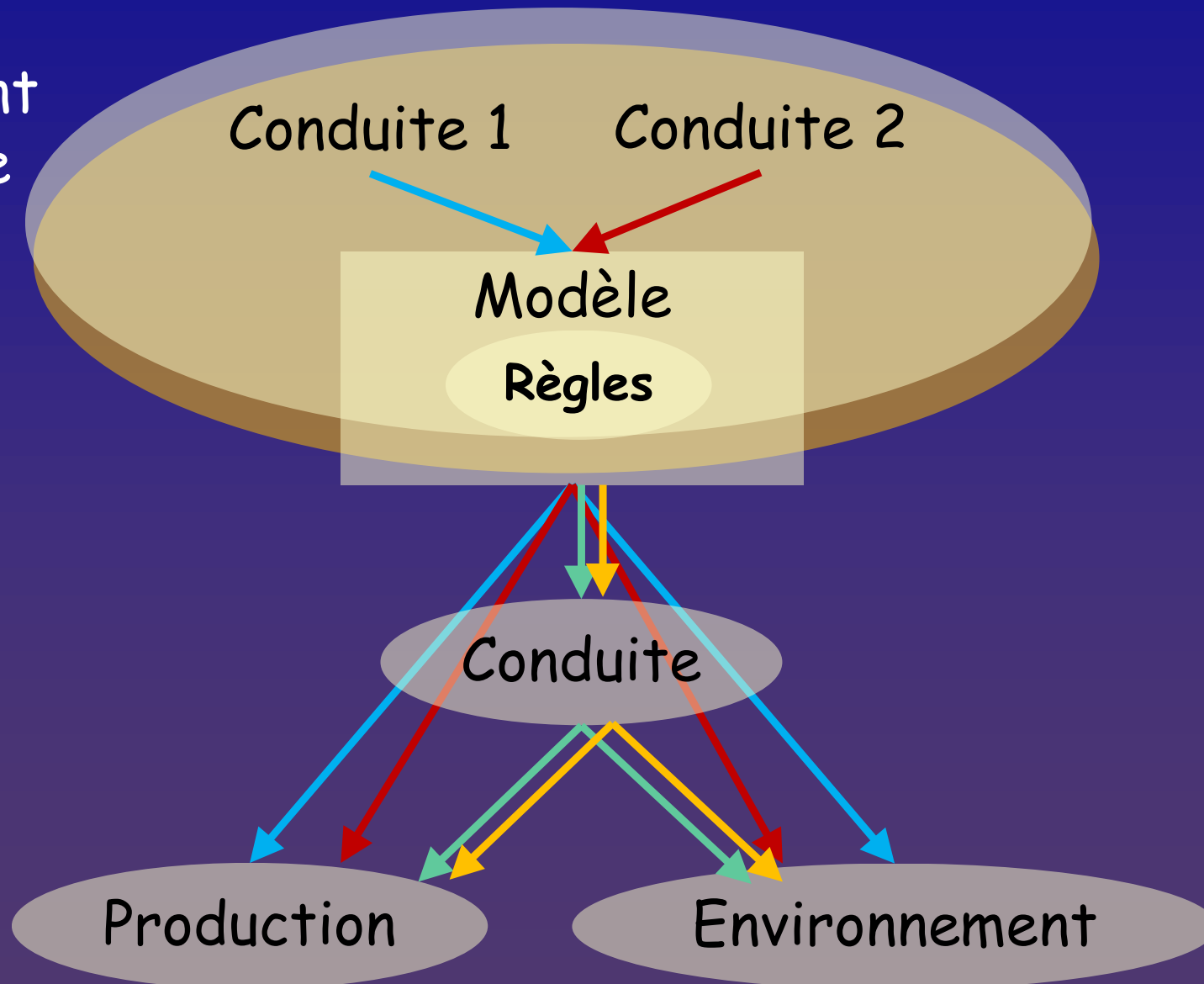
- Comprendre les mécanismes et les comportements émergents



- Tester des scénarios
- Supports de médiation entre acteurs
- Mobilisables pour instruire les politiques publiques

# Deux types d' « expérimentation virtuelle »

Changement  
climatique



## Exemples de 2 modèles à compartiments, dynamiques, déterministes et mécanistes

- **PaSim**, M. biogéochimique de simulation du fonctionnement des prairies

[https://www1.clermont.inra.fr/urep/modeles/pasim\\_FR.htm](https://www1.clermont.inra.fr/urep/modeles/pasim_FR.htm)

- **STICS**, M. générique de simulation des cultures fourragères

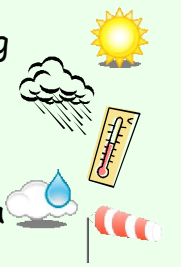
[http://www7.avignon.inra.fr/agroclim\\_stics/modele\\_stics](http://www7.avignon.inra.fr/agroclim_stics/modele_stics)

- Implication dans des études de changement climatique



*Brisson et Levrault (2010)*  
*Graux et al. (2013)*  
*Ruget et al. (2012)*

## Climat

- $R_g$
  - $P$
  - $T$
  - $e_a$
  - $u$
  - $[CO_2]$ ,  $[NH_3]$
- 

## Sol

- Texture
- Densité
- Profil hydrique
- Proondeur
- $MO_{init}$


## Prairie

- Pluri or monospécique
- avec ou sans légumineuses

## Herbivores

- Type (génisses, VA+veaux, VL, moutons)
- Poids, état, age à la mise à l'herbe
- $PL_{pot,max}$ , vêlage

## Conduite

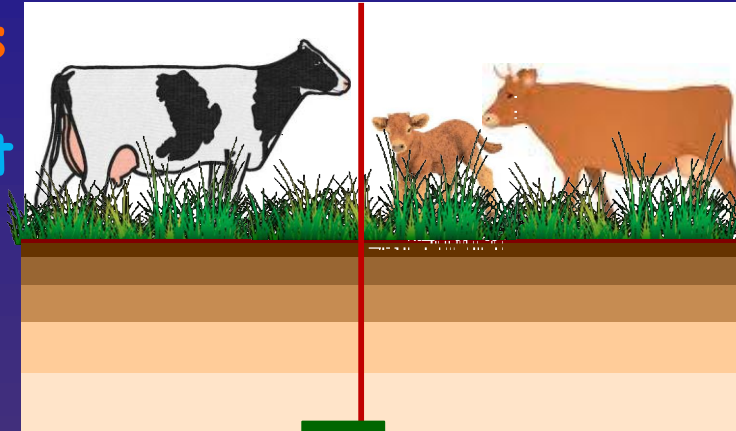
- Fauche 
- Fertilisation N minérale et organique
- Pâturage
- Retournement

## PaSim

Herbivores

Microclimat  
Prairie

Sol

Matière, C,  
N, H<sub>2</sub>O

## Production

- Production fourragère
- Teneur C et N des fourrages
- Performances animales (GMQ, PL)

## Environnement

- GES ( $CO_2$ ,  $N_2O$ ,  $CH_4$ )
- Séquestration C
- Drainage
- Lixiviation du nitrate
- Échanges  $NH_3$

## Conduite automatisée

- Fauches, pâturage
- Fertilisation N minérale
- Irrigation
- Complémentation
- Dimensionnement F/P

# ENTRÉES

# SYSTÈME



# PROCESSUS

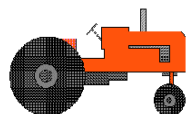
# SORTIES

## Climat



$T_{min}$ ,  $T_{max}$ , P, Rg, HR, V et/ou ETP

## ITK



Apports N, eau, travail du sol, semis, récolte etc.

## Cultures

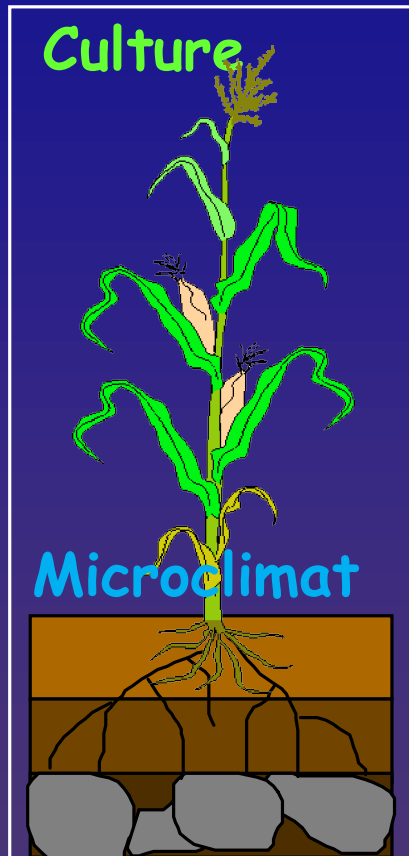


Espèces, variétés, sensibilité au stress etc.

## Sol

Surf. : arg., pH,  $N_{org}$   
Hor. : épais., da, HCC, HPF, cailloux;  
Init. : N & eau

## Culture



## Microclimat

## Sol



## US

Développement

Croissance foliaire

Interception rayonnement

Croissance biomasse

Elaboration du rendement

Croissance racinaire

Transferts eau / azote

Gestion des interventions techniques

## Production

- Rendement
- Teneur  $H_2O$  & N des organes

## Environnement

- Drainage
- Lixiviation du nitrate

## ITK

- Dates et apports irrigation, fertilisation N
- Dates de fauche etc.



## Adaptation de l'itinéraire technique

- Modules de gestion de la fertilisation N minérale, d'exploitation de l'herbe (fauche, pâture) et d'irrigation

Seuil de déclenchement  
de la pratique

Ex:  $INN = 0.5$

Seuil d'arrêt de la  
pratique

Ex:  $INN = 0.5 + \varepsilon$

Ex:  $INN$   
Variable de pilotage

### Conditions

- C1**: humidité suffisante du sol
- C2**: le dernier apport a eu il y a au moins 45j
- C3**: le nombre d'apports n'excède pas le nombre max d'apports
- C4**: le 1<sup>er</sup> apport a lieu à partir de  $200^{\circ}Cj$  en base  $0^{\circ}C$  à partir du 01/01

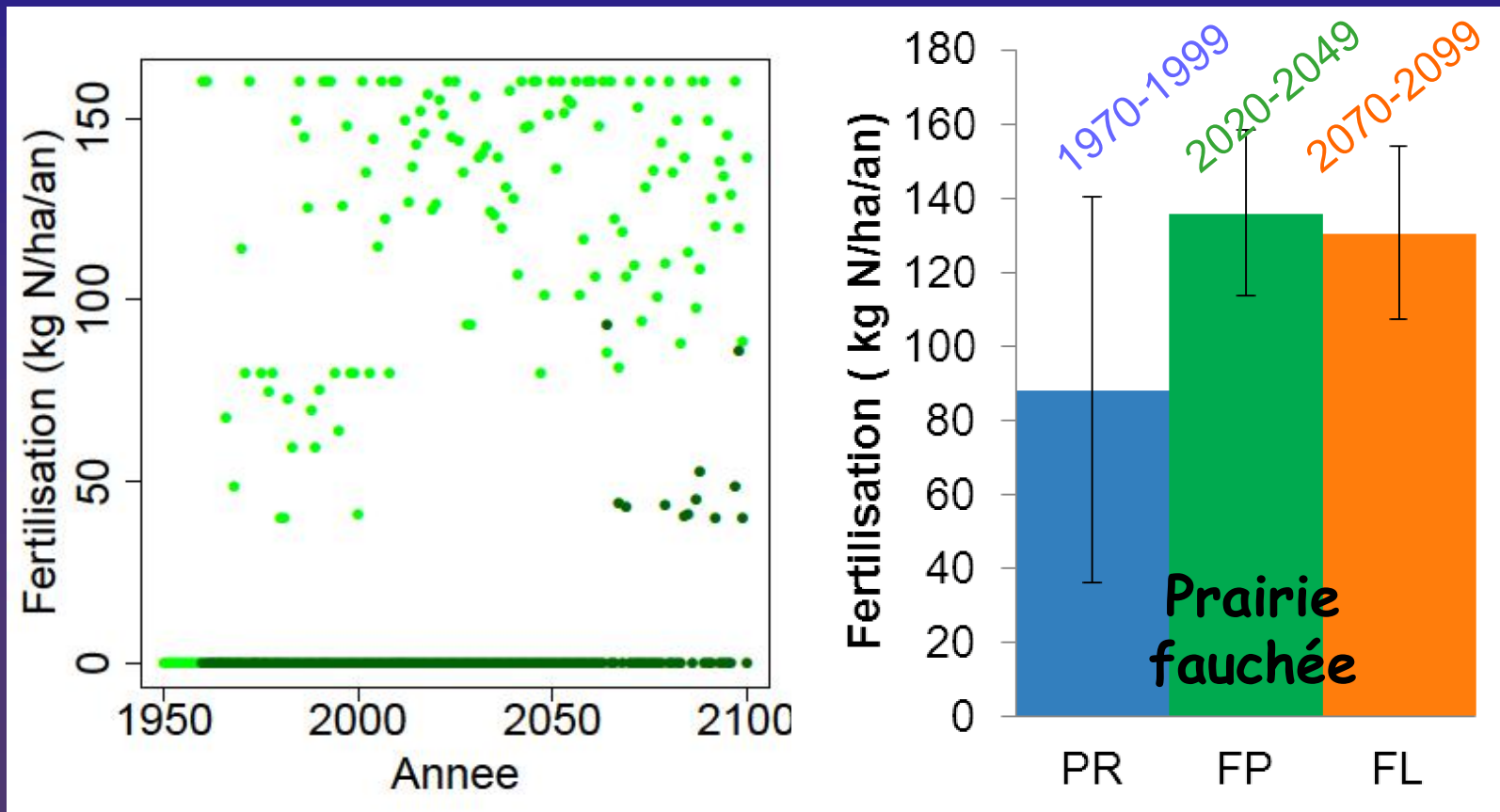
$Q_{min} < \text{Apport pour maximiser la quantité d'N dans le couvert} < Q_{max}$





# Adaptation de la fertilisation N minérale sous changement climatique

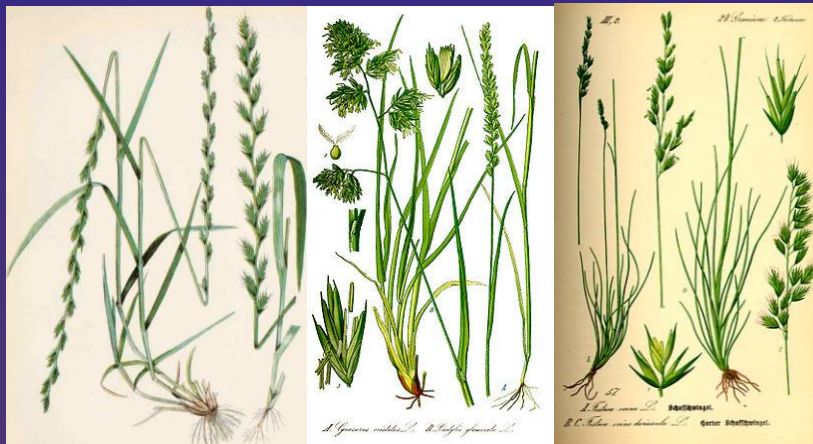
- Cas d'une prairie de moyenne montagne, uniquement fauchée • ou pâturée •, scénario A2 ARPEGE QQ



# Choix de cultures fourragères adaptées

- **STICS** : Comparaison de variétés de maïs et de graminées, de différentes cultures fourragères (Ruget et al., 2012a; Brisson et Levrault, 2010)

RGA      Dactyle élevée      Fétuque      Sorgho      Maïs

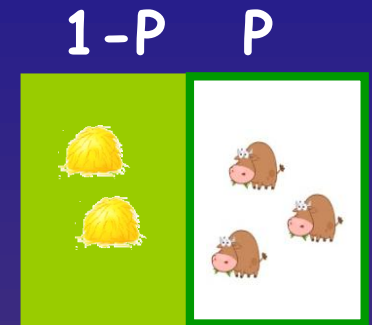


- **PaSim** : Comparaison de plusieurs types fonctionnels de prairies permanentes (Cruz et al. 2010)

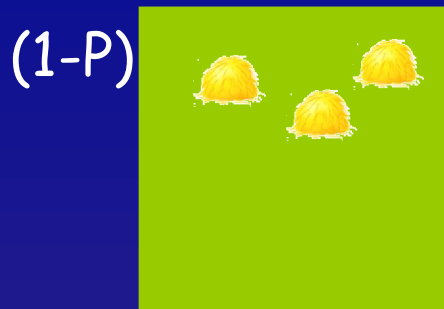
# Adaptation du dimensionnement des surfaces en fauche/pâture

- Systèmes exclusivement **herbagers**
- Utilité du **dimensionnement** des surfaces en **F/P** et des **reports de stocks** comme leviers d'adaptation
- **H1**: homogénéité de la végétation et du sol des surfaces
  - Pâturées (P)
  - Fauchées (1-P)

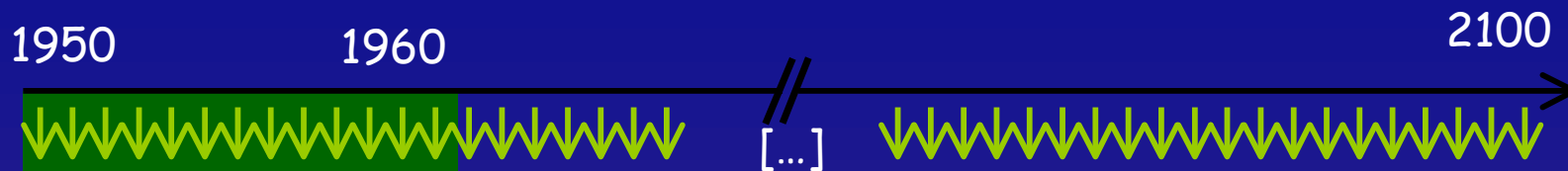
⇒ Représentées par 2 parcelles de prairie, l'une fauchée, l'autre pâturée
- **H2**: l'éleveur cherche à maximiser le chargement global de son exploitation ( $D=PS$ )
- **H3** : l'éleveur conçoit son système (dimensionnement F/P, D) sur l'expérience qu'il a des « i » dernières années en termes de ressources fourragères



# Surfaces fauchées (pilotage fauche et fertilisation N)



1) Estimation du rendement fourrager annuel  $Y$



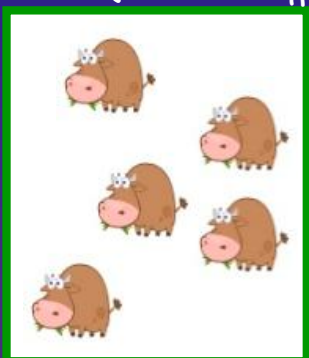
2) Calcul de l'espérance du rendement fourrager  $Y_m$



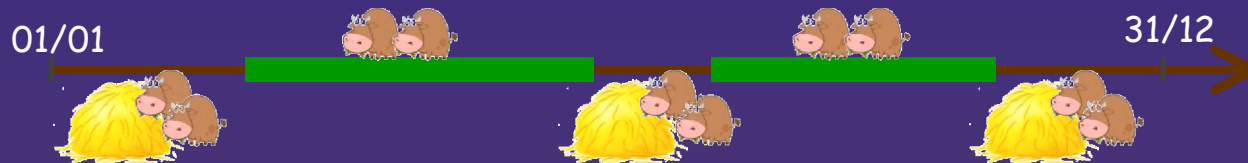
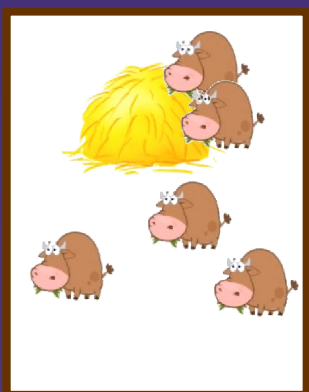
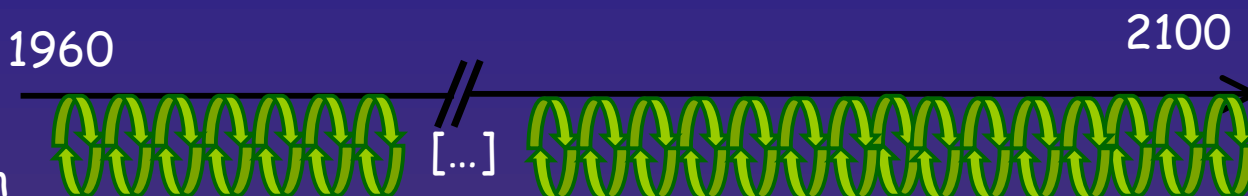
**Equilibre :  $XP = Y_m(1-P)$**

$P = 1 / (1 + X / Y_m)$

# Surfaces pâturées (pilotage pâturage et fertilisation N)



Incrémentation  
du  
chargement  $S$



= >  $N_p$  jours **pâturés** et  $N_e$  jours à l'**étable**

Arrêt lorsque  $D = P \times S$  atteint un plateau

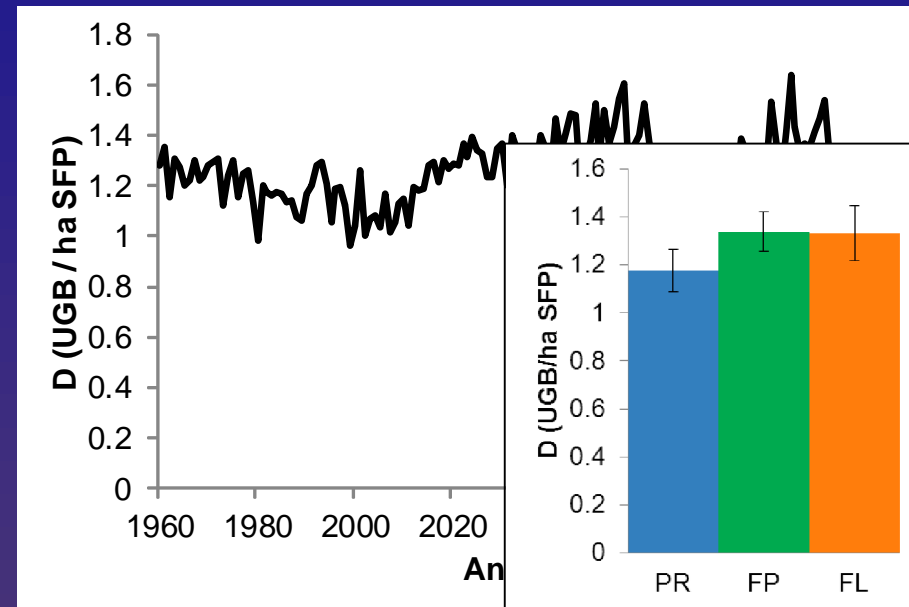
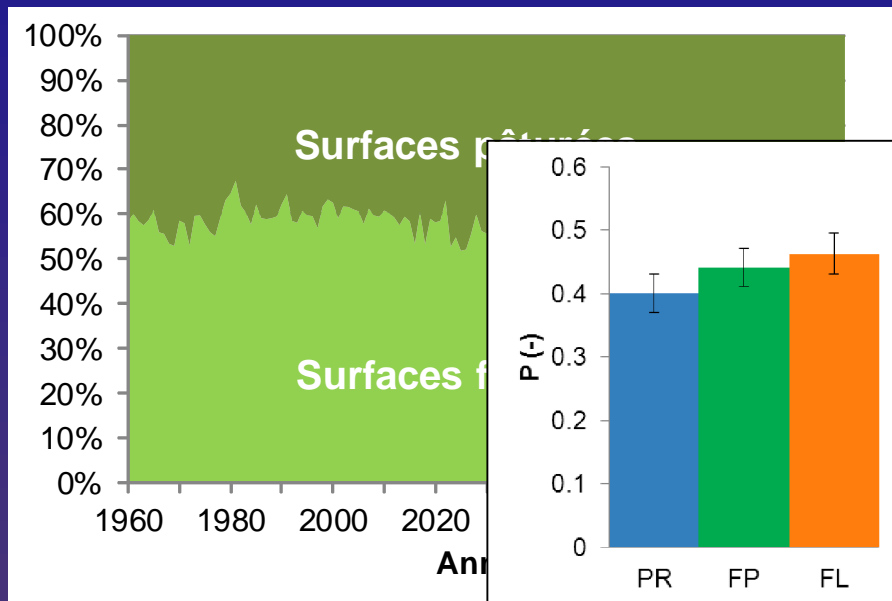
L'éleveur a optimisé ses surfaces et son chargement système sur l'espérance des ressources

Besoins en fourrages  
conservés  $X = CI \cdot S \cdot N_e$

# Systeme herbager allaitant de moyenne montagne (Auvergne), prairies permanentes

Allocation des surfaces en herbe

Chargement global de l'exploitation

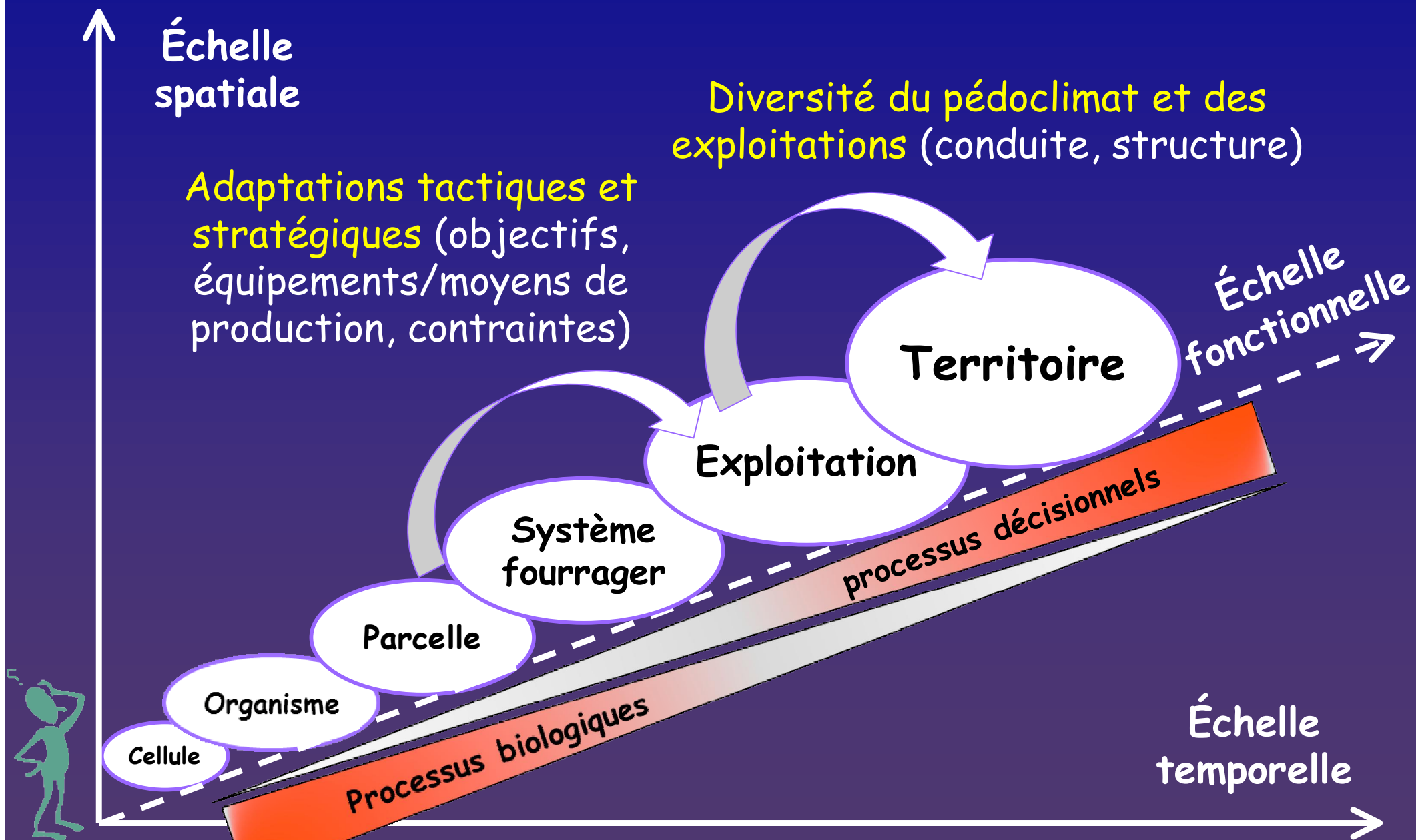


Peu d'évolution de l'équilibre fauche/pâturage

= > L'éleveur pourrait maintenir le chargement global de son exploitation, en  $\nearrow$  P (40  $\Rightarrow$  46%) et en **intensifiant l'exploitation des surfaces F** (+ 50 kg N/ha,  $\nearrow$  du nombre de coupes) dont la production augmente dans le FP (+1.5 TMS/ha) et de se maintient à ce niveau dans le FL



# Les difficultés inhérentes au changement d'échelle

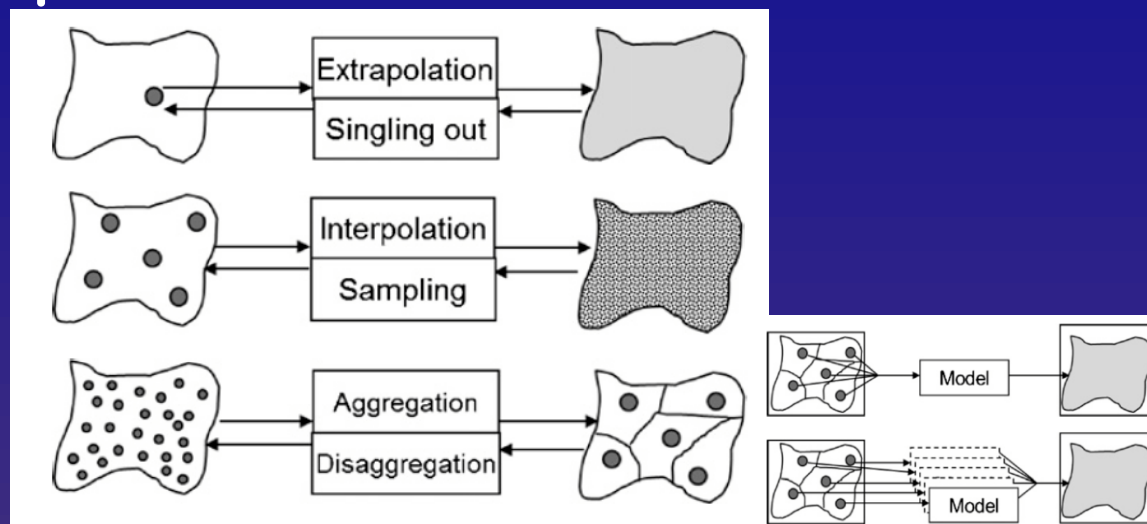


# Comment changer d'échelle ?

- Manipuler les données d'entrée ou de sortie des modèles

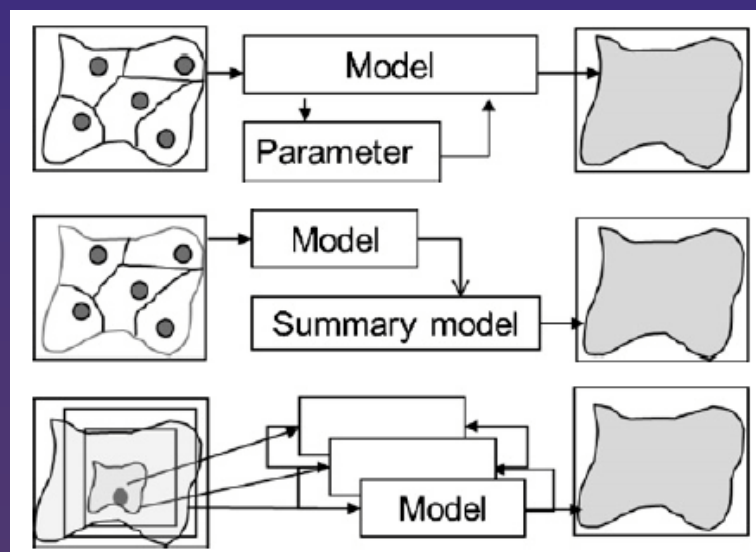
Exploitation

Territoire



- Manipuler les modèles

- Paramétrage
- Simplification
- Emboîtement

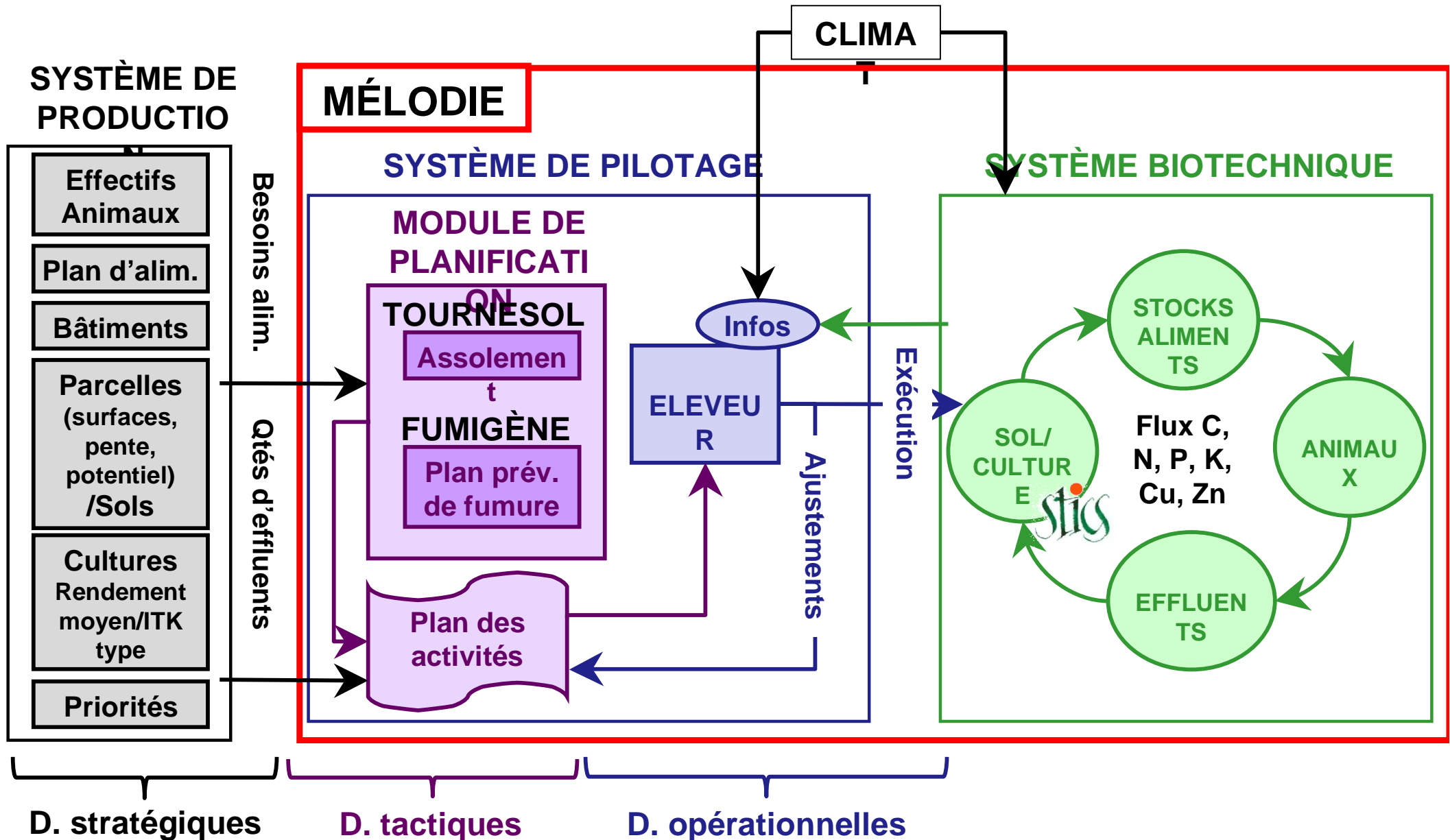




## La plate-forme de modélisation et de simulation des agro-écosystèmes

- Créée à l'initiative de l'**INRA**, opérationnelle depuis **2010**
- **Mise en commun et réutilisation des modèles** développés dans des équipes de recherche de discipline différente
- Facilite le **couplage** des modèles (formalismes hétérogènes) et le **développement** de modèles **aux échelles fonctionnelles supérieures**
- Support d'une **20<sup>aine</sup>** projets de recherche
- **Bibliothèque de modèles** (STICS, SUNFLO, HERBSIM, MELODIE, TNT, CASIMOD'N etc.)

# Une nouvelle génération de modèles intégratifs ...

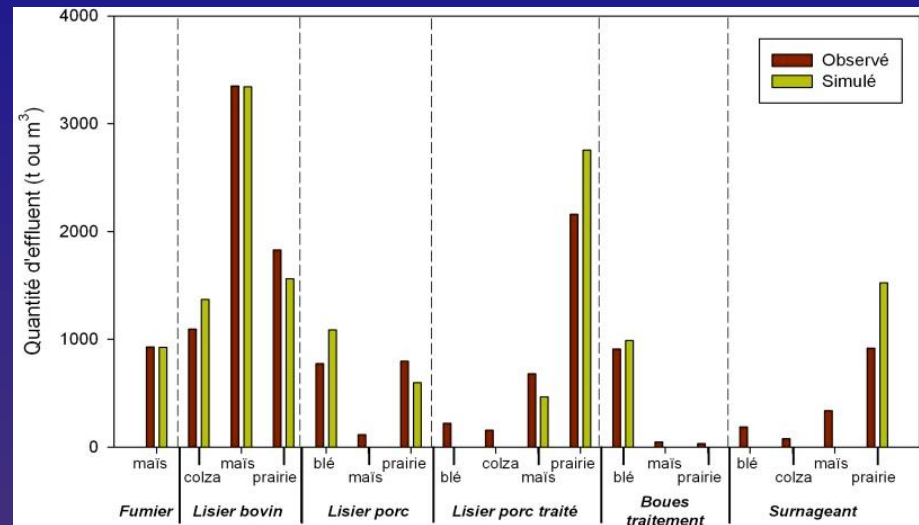


# MELODIE : sorties liées au pilotage du système et ses conséquences

## Assolement

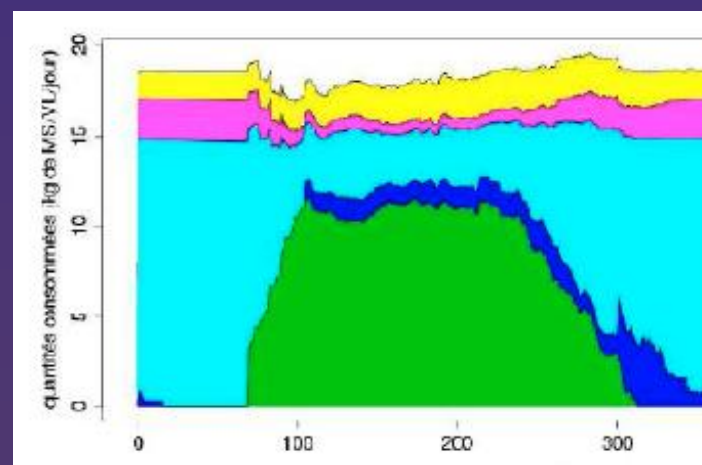
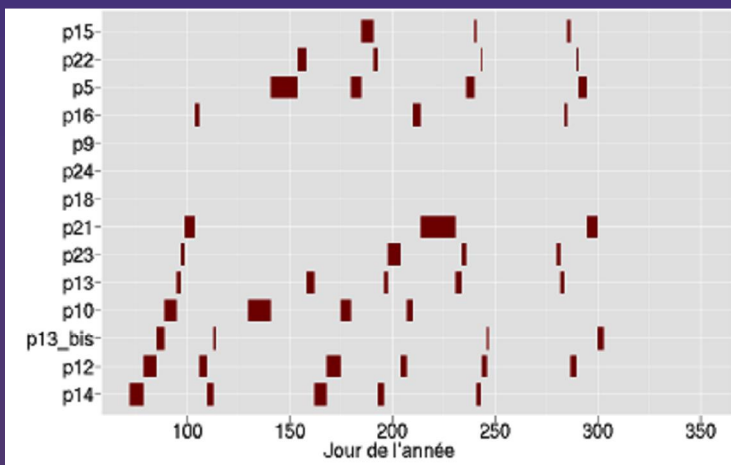


## Gestion des effluents



## Calendrier de pâturage

## Ration annuelle/lot d'animaux

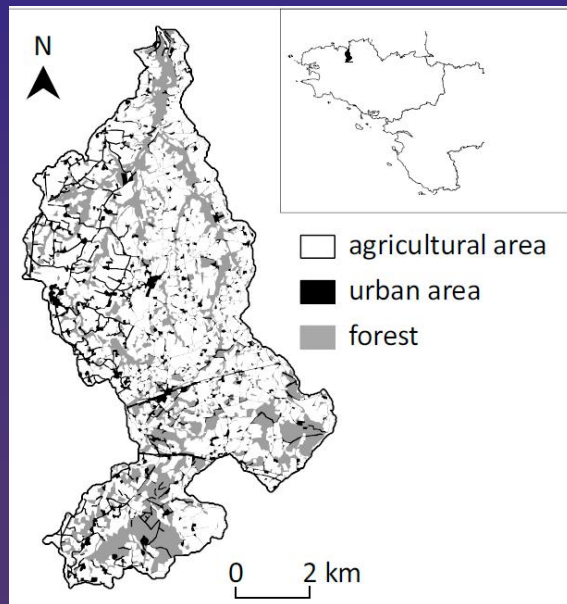


- Production laitière
- Lixiviation du nitrate
- Emissions NH<sub>3</sub>
- Emissions GES
- Etc.

# CASIMOD'N : simulation des transferts N à l'échelle du bassin versant

= **TOURNESOL + FUMIGENE + TNT2** (modèle agro-hydrologique incluant STICS)

=> Simule l'assolement et de l'apport d'engrais N dans l'espace et dans le temps, en tenant compte de la stratégie de l'éleveur

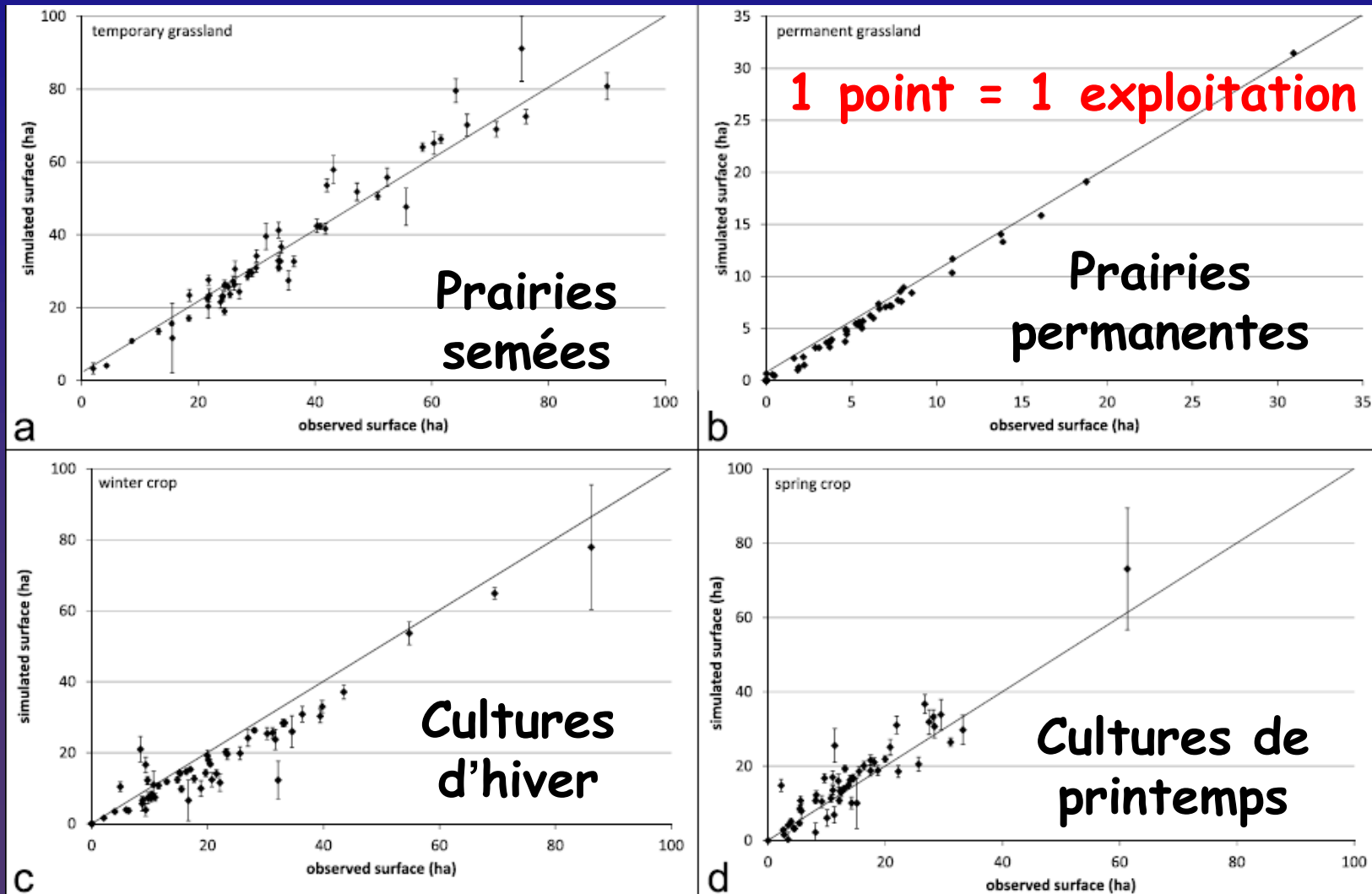


## □ Bassin versant du Yar

- 60 km<sup>2</sup> (64% SAU, 28% forêts, 8% ZU)
- 57 EA (54 élevage, 3 polyculture)
- Cultures : **prairies**, **cultures d'hiver** (blé, orge, avoine, triticales, colza), **cultures de printemps** (maïs, pommes de terre, betterave, pois)
- Simulations de 1996 à 2006

# Evaluation de la simulation de l'assolement par CASIMOD'N

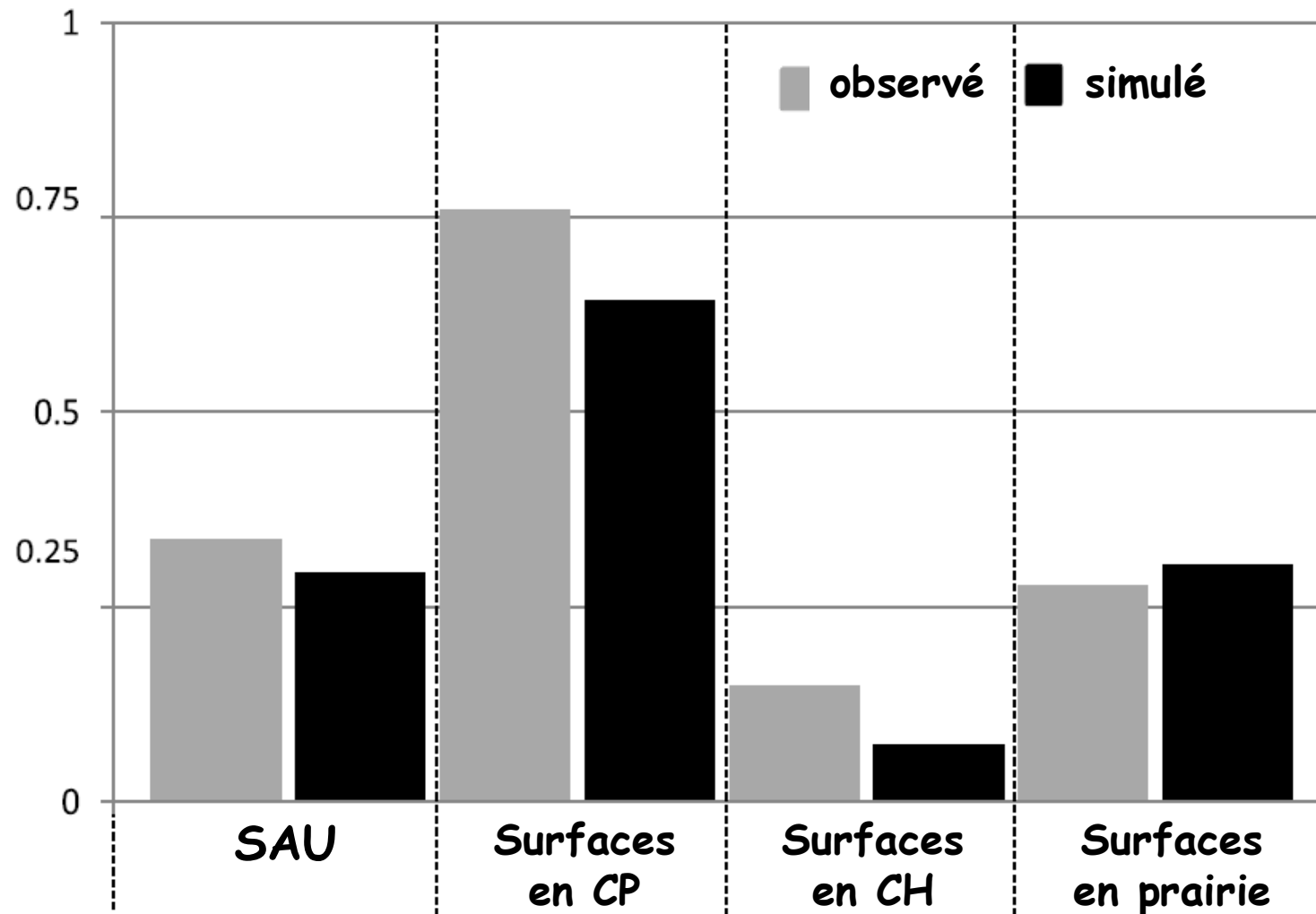
Surfaces simulées (ha)



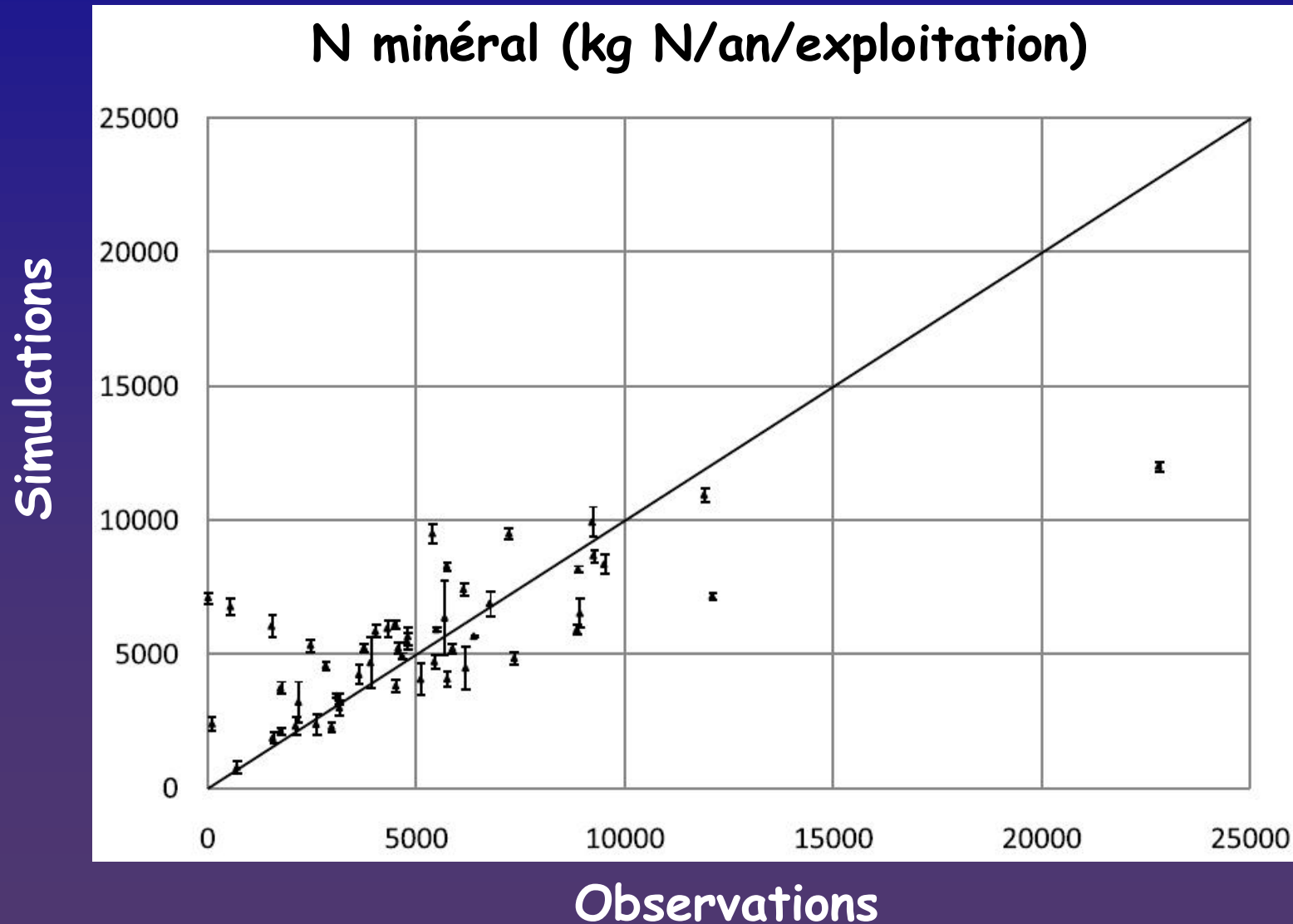
Surfaces observées (ha)

# Evaluation de la simulation par CASIMOD'N de l'épandage d'effluents organiques par type de surface

Fraction des surfaces du bassin recevant de l'N organique



# Evaluation de la simulation par CASIMOD'N de la fertilisation minérale





## Où en est-on de la modélisation des adaptations au changement climatique ?

- Des approches aux échelles parcelle/système fourrager => modéliser l'adaptation des interventions techniques et du dimensionnement des surfaces, comparer l'intérêt de différentes espèces/variétés ...
- Une nouvelle génération de modèles plus intégratifs => comparer l'intérêt de différents pilotages par l'éleveur (décisions tactiques et stratégiques)
- Nécessité d'une co-construction et d'une co-évaluation de la pertinence des scénarios d'adaptations avec les porteurs d'enjeux
- Vers une évaluation multicritère des adaptations ?