



# Modéliser les interactions biotiques, en lien avec des dynamiques abiotiques et socio-économiques, pour l'agroécologie

Chantal Gascuel, Françoise Lescourret, Hervé Monod  
Lionel Roques

*Composition du GT*

*David Bohan, Evelyne Costes, Pierre Courtois, Frédéric Fabre, Philippe Faverdin, Alain Franc, Thierry Hoch, Florence Phocas, Jean-Philippe Steyer, Marc Tchamitchian*

# Les enjeux



## → Accompagner la transition agroécologique

- Comprendre la dynamique des agroécosystèmes
- Identifier des verrous (scientifiques, de gestion)
- Estimer les ordres de grandeur des risques et des gains
- Etablir des systèmes d'avertissement pour anticiper
- Proposer des stratégies et des trajectoires pour l'action

## → Aider à la conception et au pilotage des agroécosystèmes

# Le périmètre

Un inventaire des modèles développés à l'INRA :

- **Cœur de cible :**

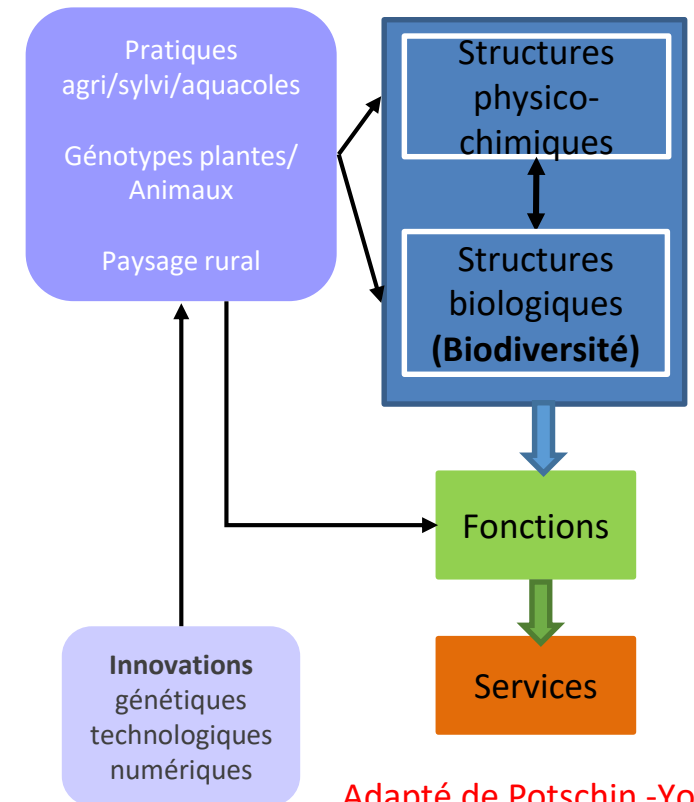
- Modèles représentant des composantes de la biodiversité et des interactions biotiques
- En interaction possible avec dynamiques abiotiques/sociales/économiques
- Contribuant à représenter la cascade des services

- **En périphérie :**

- Modèles « hors cœur » mais fondés sur méthodes générales (ex écologie théorique)

- **Ecartées de l'analyse :**

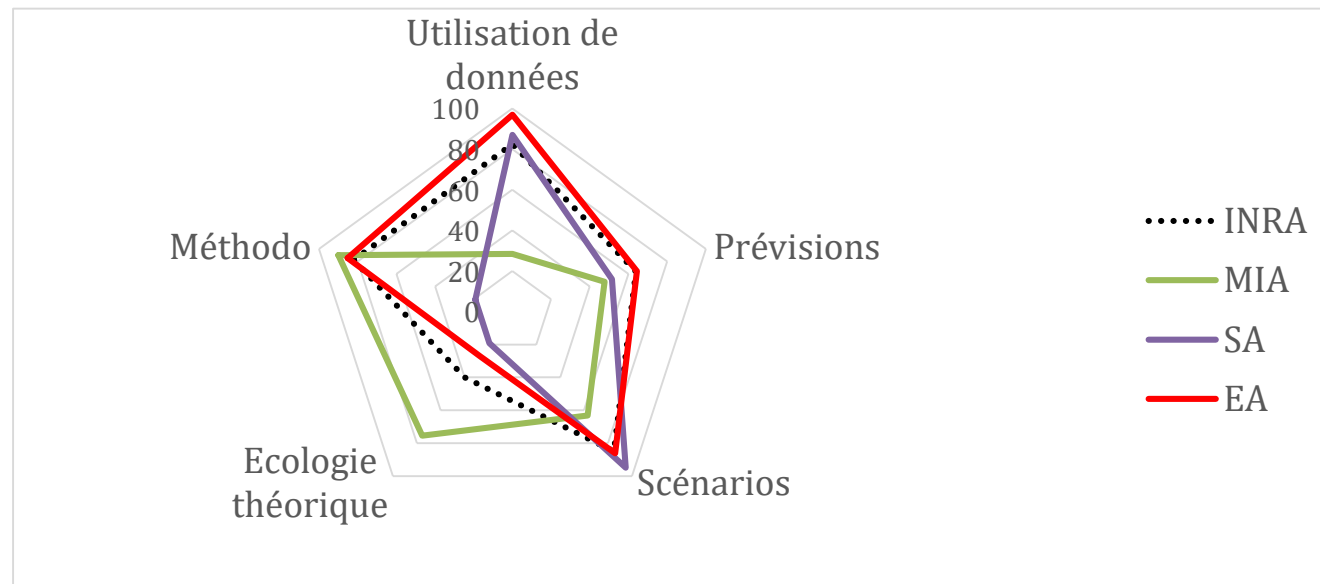
- ❑ Approches purement statistiques, approches orientées données.



Adapté de Potschin -Young et al 2018, Gaba et al 2015

# Synthèse des résultats

- Chiffres clés : **107 modèles** à l'Inra en 2018, soit environ **400 publications**
- Points forts :
  - nombreux domaines, différentes échelles (individu, population, territoire)
  - biodiversité représentée dans près de la moitié des modèles
  - la plupart des modèles intègrent une composante temporelle
  - les 2/3 des modèles sont spatialement explicites
  - la plupart des modèles s'appuient sur des données
- Complémentarité des approches suivant les départements

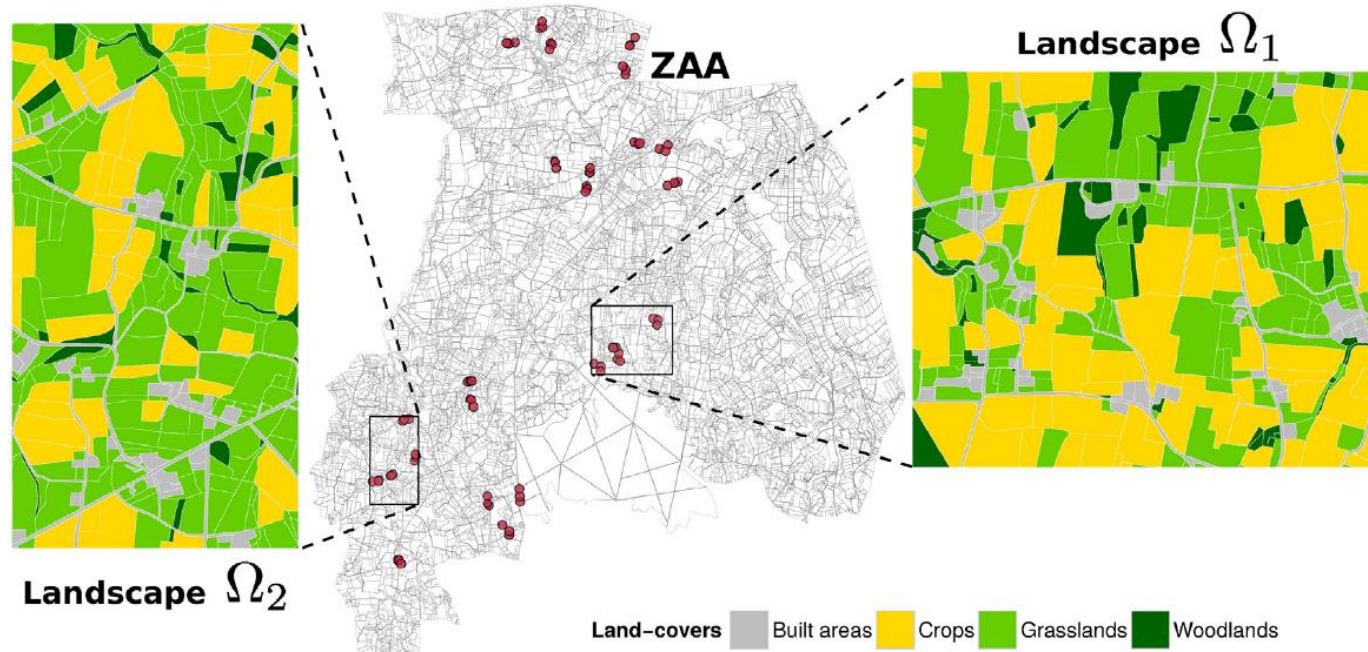


# Exemple 1. Optimisation agroécologique de l'allocation des sols

Exemple issu de *Parisey et al., Ecological complexity, 2016*  
Atelier du réseau **ModStatSAP**



# Site : deux sous-domaines de la Zone Atelier Armorique



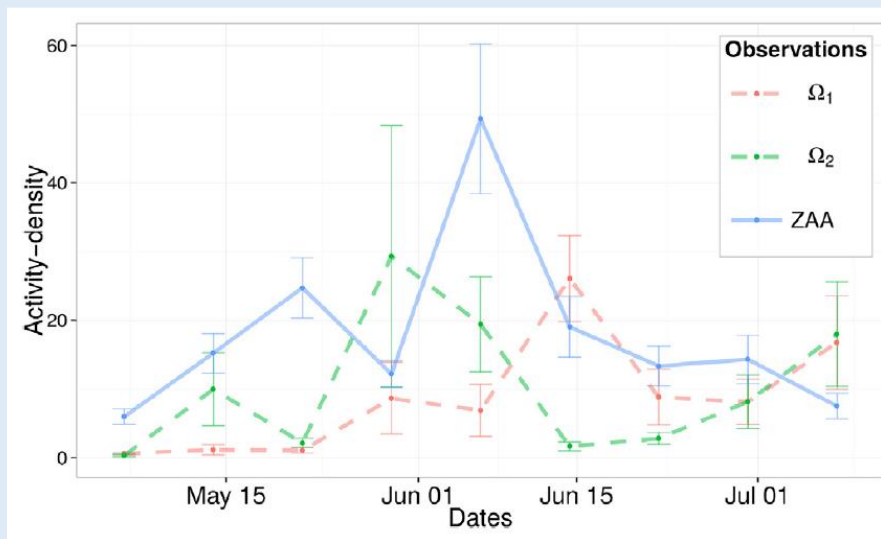
## Un auxiliaire de culture, le carabique *Poecilus cupreus*

- Connue pour être présente dans les zones cultivées
- Consommateur de limaces et autres nuisibles

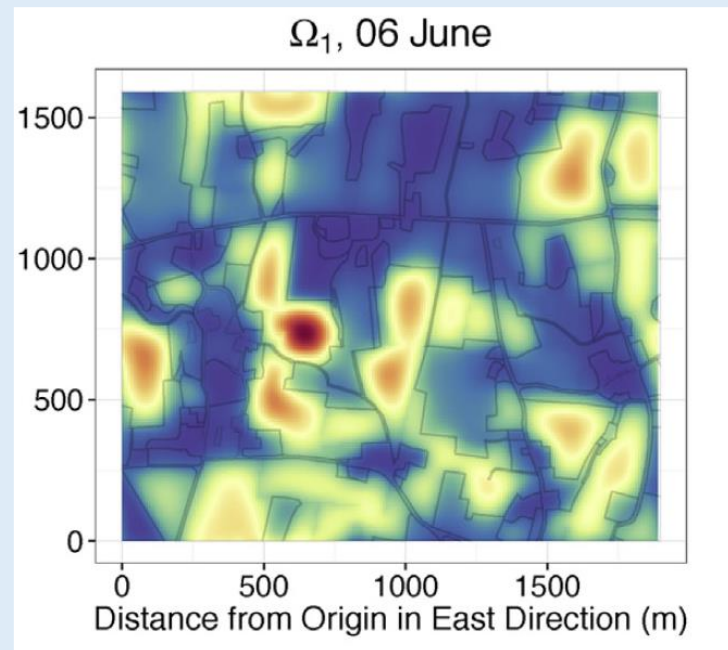


**Objectif :** comparer différents scénarios d'allocation des sols, en vue d'accroître la densité de carabiques

## Données : pièges géolocalisés



## Modèle : système dynamique spatio-temporel



Modèle de **réaction-diffusion** :

$$\partial_t u(t, x) = D\Delta u(t, x) + (r(x)e^{-\beta t} - \mu)u(t, x)$$

## Difficulté : faire le lien modèle-données

- prendre en compte de l'incertitude sur les données
- comparer des grandeurs initialement non commensurables (piégeages vs densité)

# Cadre générique pour faire le lien modèle-données : l'approche mécanistico-statistique

(approche développée à l'INRA – département MIA/NUMM)

- Relier données et modèle via une **approche probabiliste**
- Utiliser une méthode statistique pour estimer les paramètres

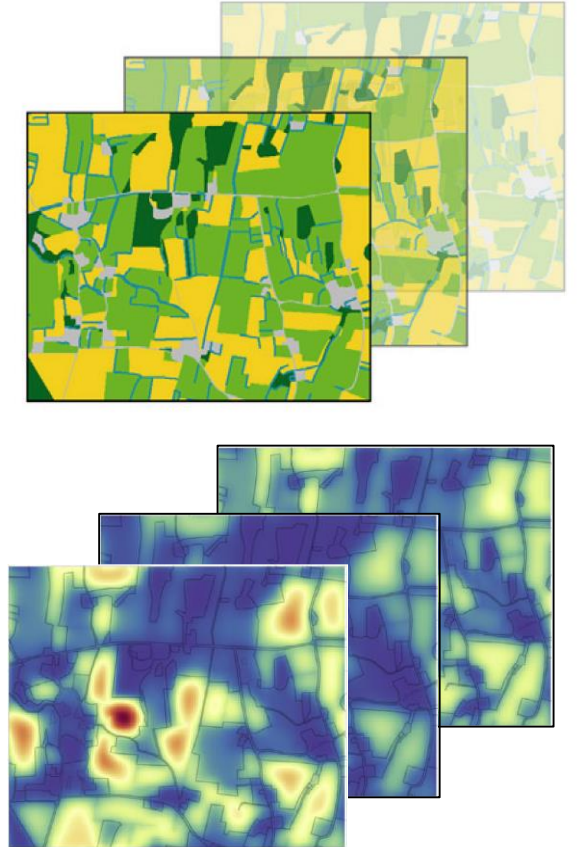
Données piégeage      Données SIG

Estimation des paramètres  
par méthode méca.-stat.

Modèle de dynamique  
spatio-temporelle

Simulation de la  
dynamique du  
carabique :

- Sur le paysage initial
- Sur 15000 paysages virtuels



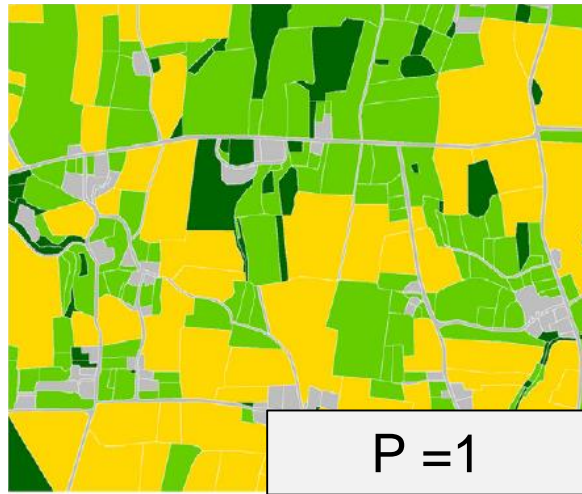
Indice de performance :  $P = \frac{\text{densité de carabique dans paysage initial}}{\text{densité de carabique dans paysage simulé}}$



# Résultats

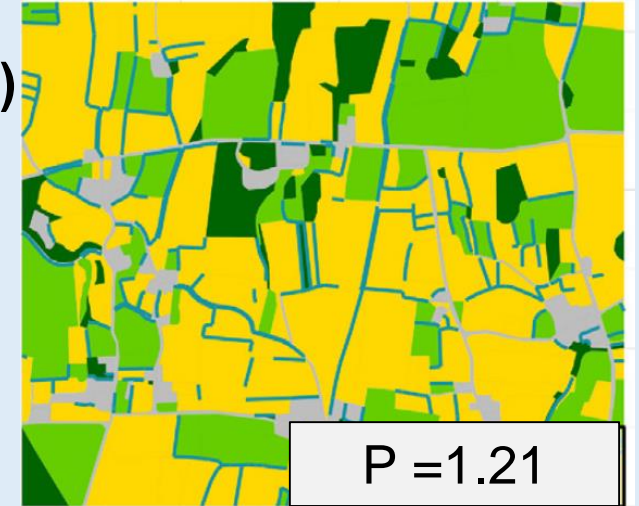


Paysage initial

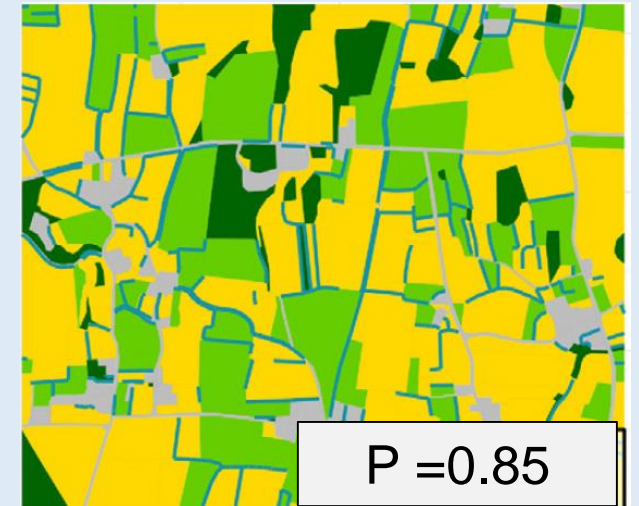


Land-covers  Built areas  Crops  Grasslands  Woodlands

Meilleur paysage  
(+21% d'auxiliaires)



Pire paysage  
(-15% d'auxiliaires)



- **effets significatifs de l'agencement du paysage** pour des proportions données
- performance du paysage initial inférieure à la moyenne
- **généricité de la méthode**, possibilité de couplage avec des modèles économiques

# Exemple 2. Florsys, un modèle de la dynamique d'une flore adventice plurispécifique en interaction avec des plantes cultivées

Nathalie Colbach et al, dépt  
EA/AgroEnv  
Nombreux articles depuis 2012

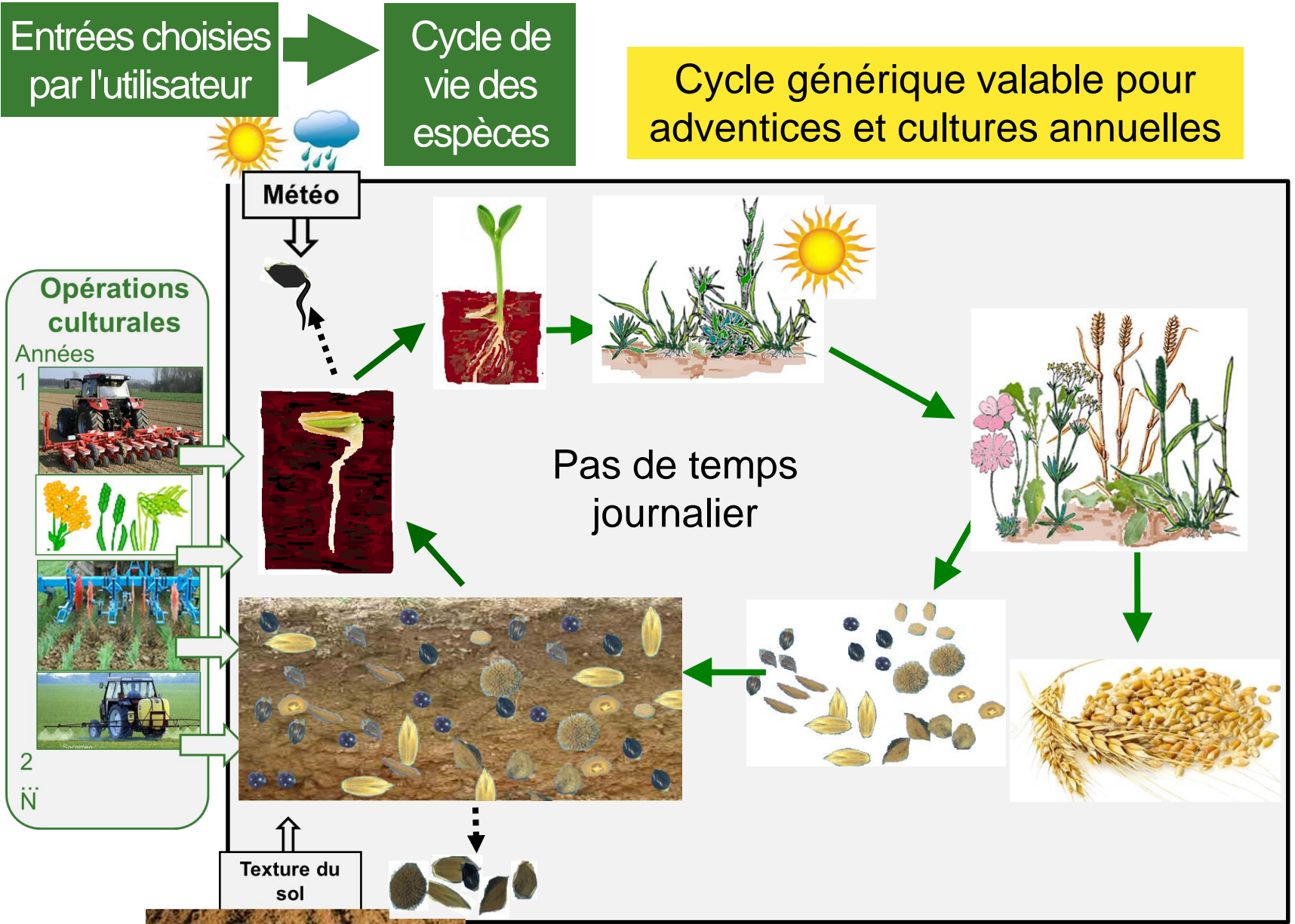
## Objectifs

- Simuler dynamiques pluriannuelles et interactions en fonction du pédoclimat et des systèmes de culture
- Simuler impacts de la flore adventice sur la production agricole, la biodiversité et l'environnement

## Approche

- Au cœur: modélisation démographique avec phases clé
- Etapes historiques:
  - Passage d'un modèle monospécifique (Alomysys) à un modèle plurispécifique ([Gardarin et al, 2012](#))
  - Prise en compte **d'interactions entre espèces**: compétition pour la lumière et ses conséquences sur la croissance ([Colbach et al, 2014](#)) → nouveaux objets (modèle individu-centré, spatialisé), nouvelles fonctions



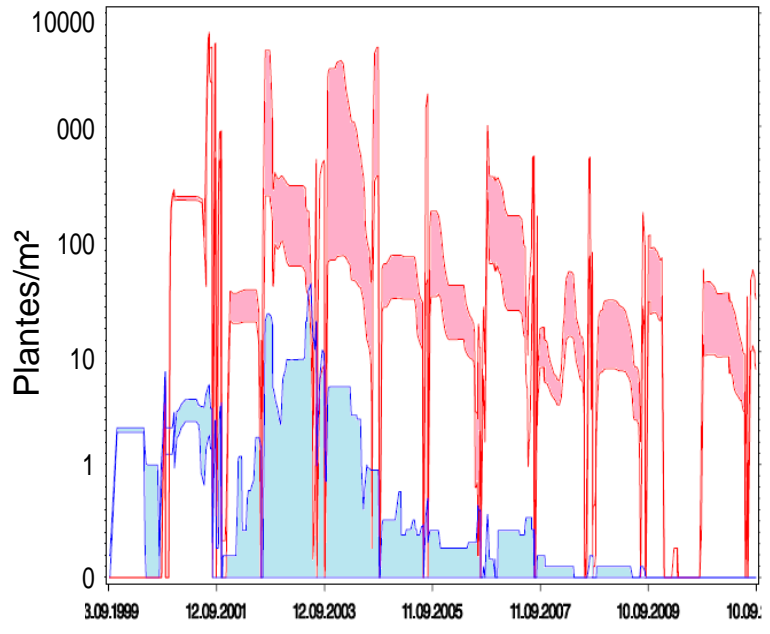
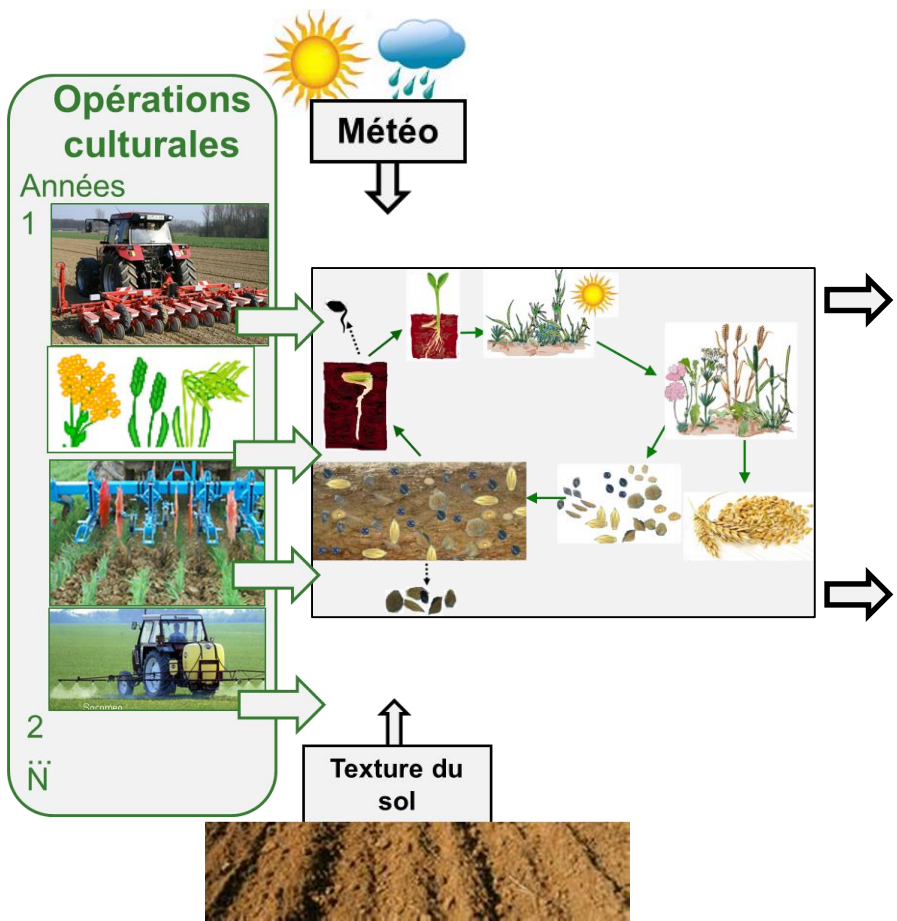


Crédit: Nathalie Colbach

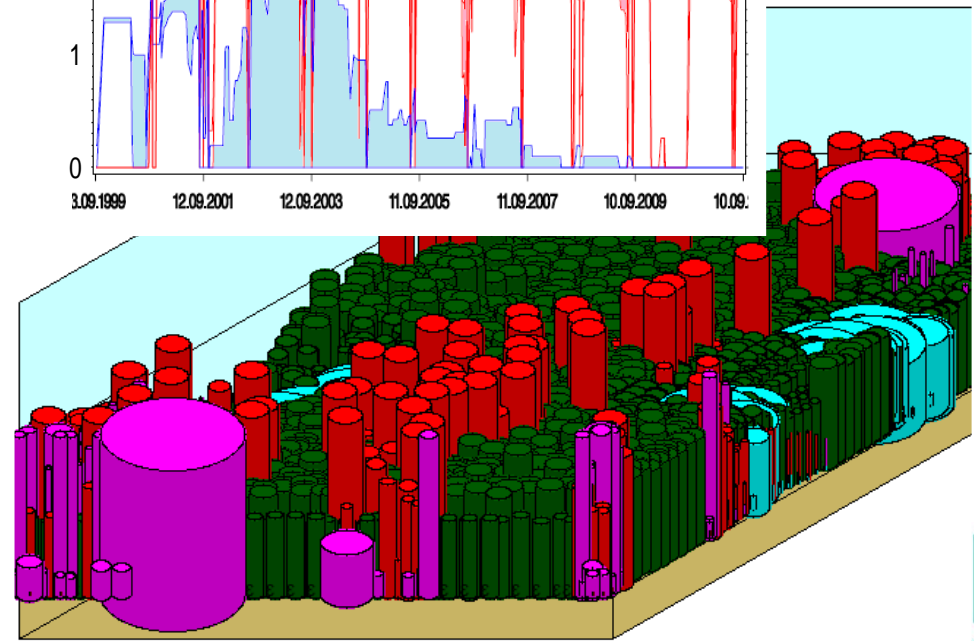
Entrées choisies  
par l'utilisateur

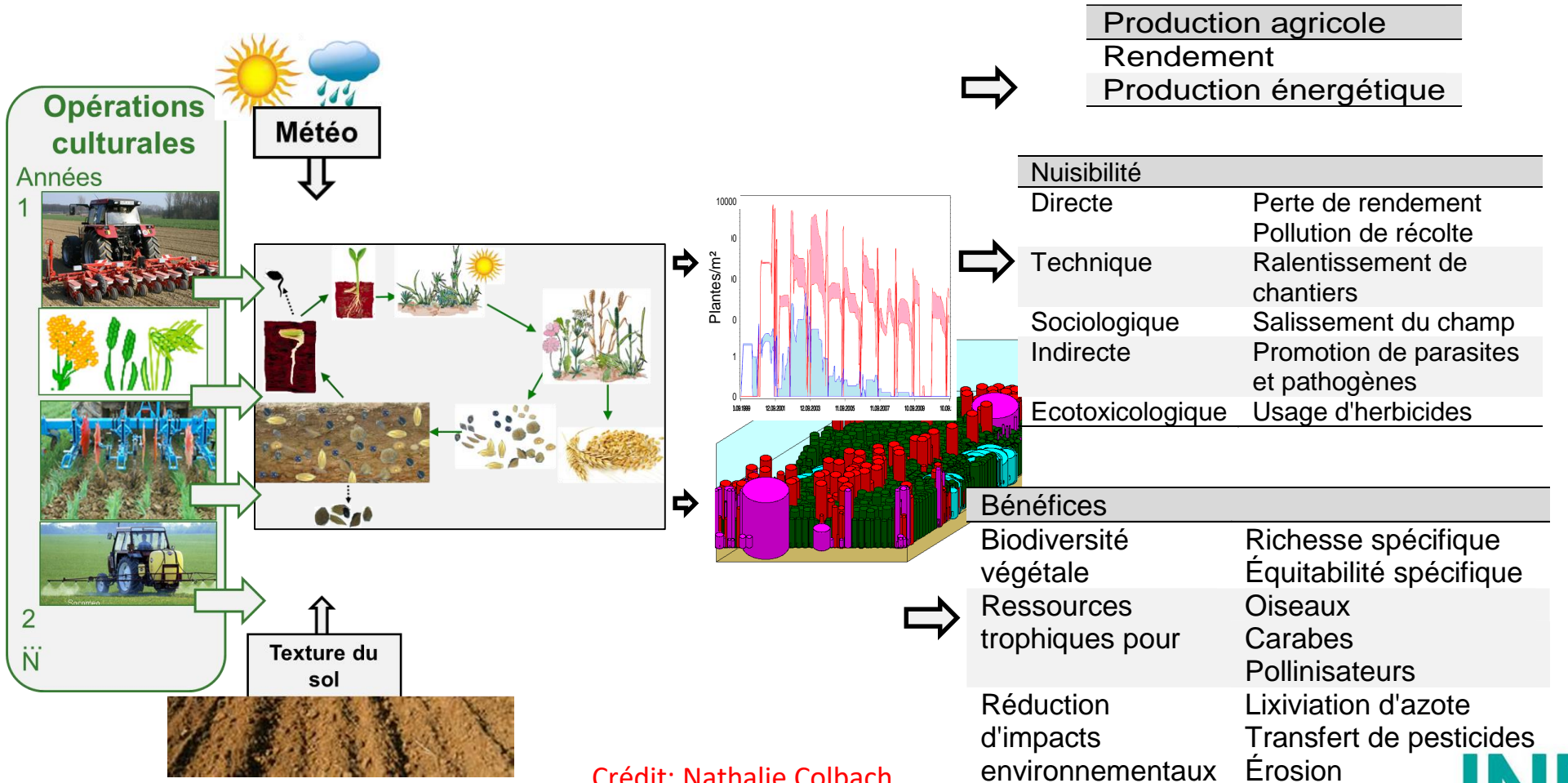
Cycle de  
vie des  
espèces

Sorties détaillées des  
états des adventices et  
des cultures



Crédit: Nathalie Colbach





Crédit: Nathalie Colbach

# Les enjeux de recherche pour l'agroécologie

- Priorités scientifiques

- **Principale priorité** : développer des approches permettant de prendre en compte des **fonctions multiples d'interaction**
  - ✓ Les « briques de base », décrivant séparément chaque compartiment du système étudié, existent généralement
  - ✓ Liens entre ces briques (compétition, prédation, ...) difficiles à établir et à modéliser **précisément**
- **Verrou scientifique** : **connaissance et modélisation des mécanismes d'interaction**
  - ✓ problèmes méthodologiques liés à l'identifiabilité des modèles
  - ✓ manque de données permettant de calibrer les fonctions d'interaction
  - ✓ Limites intrinsèque des approches reposant trop exclusivement sur le couplage de briques élémentaires ?



# Les enjeux de recherche pour l'agroécologie

- Priorités scientifiques : quelques pistes

- ✓ Continuer à développer les approches « briques de base », en bénéficiant de données plus adaptées :
  - mieux utiliser et valoriser les dispositifs d'observation ou d'expérimentation ;
  - utilisation de données de **sciences participatives**.
- ✓ Développer d'autres approches de la complexité :
  - e.g., modèles stochastiques **prenant en compte la nature aléatoire des processus** et évitant dans certains cas la modélisation de mécanismes de faible effet ;
  - modèles apportant des réponses qualitatives à des **questions ciblées** ;
  - **réduction de modèles** : métamodélisation ou changement d'échelle ;
  - travailler sur les notions de **risque et de résilience**.



# Les enjeux de recherche pour l'agroécologie

- Dispositifs

- Pour partager les modèles: réflexion à mener
- Pour partager les données: valoriser les dispositifs d'observation/expérimentation, travailler avec les parties prenantes et les citoyens
- Métaprogrammes Inrae: instruments appropriés pour lancer des AàP pour le développement de modèles en agroécologie
- Développer les réseaux dans le champ de la modélisation: avec partenaires – Inria, Cnrs, Météo France, Cirad – et méthodes actives – ateliers collectifs de création de modèles

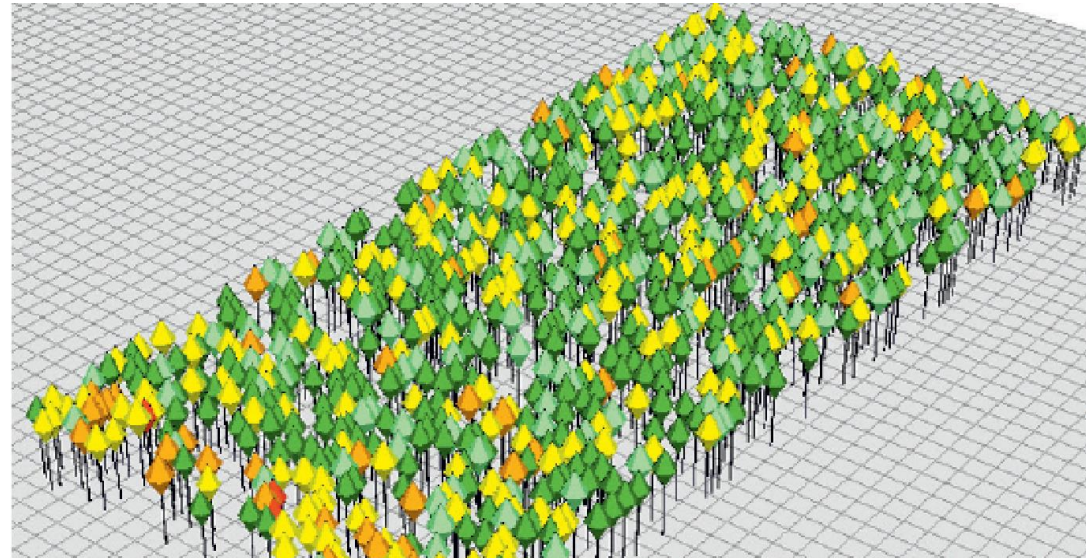




# Les enjeux de recherche pour l'agroécologie

- Partenariats

- Développer des plateformes collaboratives avec des modèles: du type de la plateforme d'épidémiosurveillance en santé végétale <https://informatique-mia.inrae.fr/biosp/equipe-ope>
- Développer des modèles utiles pour les parties prenantes: ex de Capsis, modèle de croissance et dynamique forestière très utilisé par l'ONF pour la gestion et les guides de sylviculture



Jactel et Meredieu, 2019



# Les enjeux de recherche pour l'agroécologie

- Partenariats

- Développer des plateformes collaboratives avec des modèles: du type de la plateforme d'épidémiosurveillance en santé végétale <https://informatique-mia.inrae.fr/biosp/equipe-ope>
- Développer des modèles utiles pour les parties prenantes: ex de Capsis, modèle de croissance et dynamique forestière très utilisé par l'ONF pour la gestion et les guides de sylviculture OU de Florsys pour l'évaluation ex ante de systèmes de culture définis par des parties prenantes et la conception de systèmes de culture dans des ateliers participatifs

Colbach et al, 2019



# Les enjeux de recherche pour l'agroécologie

- Partenariats

- Développer des plateformes collaboratives avec des modèles: du type de la plateforme d'épidémiosurveillance en santé végétale <https://informatique-mia.inrae.fr/biosp/equipe-ope>
- Développer des modèles utiles pour les parties prenantes: ex de Capsis, modèle de croissance et dynamique forestière très utilisé par l'ONF pour la gestion et les guides de sylviculture OU de Florsys pour l'évaluation ex ante de systèmes de culture définis par des parties prenantes et la conception de systèmes de culture dans des ateliers participatifs
- Co-construire des modèles avec les parties prenantes : modélisation d'accompagnement pour la conception collective

Anselme et al, 2010

