

Modélisation à base d'agents pour l'évaluation de stratégies de lutte contre les bioagresseurs à l'échelle des paysages forestiers : une application à la lutte contre les scolytes

Stéphane KREBS

Université de Lorraine, Université de Strasbourg, AgroParisTech, CNRS, INRAE, BETA, 54000, Nancy, France



Problématique générale : Economie de la santé des forêts

Plus spécifiquement, il s'agit **d'évaluer** des **stratégies** – **individuelles** et/ou **collectives** – de **lutte** contre les **bioagresseurs**, à l'échelle des **paysages forestiers**.

Les **bioagresseurs** se **diffusent dans le temps et l'espace** et ont des **conséquences néfastes** sur le plan **sanitaire** et/ou **économique** [Quel est le coût économique des dommages induits par la présence des bioagresseurs ?]

Afin d'atténuer ces pertes, les **agents économiques** implémentent des **mesures de lutte** [la mise en œuvre de ces mesures est-elle rentable ?]

Ils peuvent avoir à **choisir entre plusieurs alternatives** en matière de **lutte contre les bioagresseurs** [comment hiérarchiser ces stratégies de lutte]

Lorsque les **décisions** des agents économiques (de surcroît potentiellement hétérogènes) agissent de manière totalement **décentralisée**, les efforts consentis peuvent s'avérer insuffisants du **point de vue collectif/social** [Faut-il laisser-faire, inciter, réglementer ? S'il convient d'inciter les agents économiques, sur quels leviers agir ?]

Il devient dès lors de prendre en compte les **rétroactions complexes** entre des **processus biologiques, techniques et économiques**, en considérant **différentes échelles d'analyse**, spatiales, temporelles et décisionnelles) [limite des approches strictement disciplinaires]

Dans une perspective d'aide à la décision – et plus largement à la réflexion - la **modélisation à base d'agents** constitue un outil puissant pour appréhender ce type de problématiques.

→ Proposition d'un **cadre** – **générique** – **d'analyse**, avec pour objet d'application la lutte contre les scolytes.

Application à la lutte contre les scolytes

Point de départ : **Hervé Jactel et Lorenzo Martini (2019)**, Libre évolution des forêts et maîtrise du risque sanitaire associé aux scolytes des conifères, *Revue Forestière Française*, vol 72(2-3), pp. 383-390

Question du choix entre diverses stratégies de lutte contre les scolytes :

- Absence de gestion (libre évolution)
- Gestion préventive (éclaircies)
- Gestion curative (coupes sanitaires)

Idées, à la lecture de l'article (en vrac) :

- Idée de hiérarchisation des stratégies de lutte (profitabilité des stratégies, hiérarchisation multicritère)
- Contexte spécifique dans lesquelles les études de terrain ont été réalisées (mélange d'espèces)
- Problèmes de gestion collective (conflits éventuels entre propriétaires, coordination des efforts de lutte)
- Problème de la surveillance et de la détection précoce des arbres scolytés (seuil de la détection)
- Conception de stratégies de lutte innovantes (non encore expérimentées sur le terrain)

→ **Développement – à titre exploratoire – d'un modèle à base d'agents (« modèle jouet »)**

Modélisation à base d'agents : principales étapes

1| Modélisation

- Définition – préalable – de la granularité du modèle
- Construction d'un paysage théorique
- Modélisation du processus de diffusion du bioagresseur
- Modélisation du comportement des propriétaires forestiers

2| Simulation du modèle

3| Analyse et interprétation des résultats

(A)

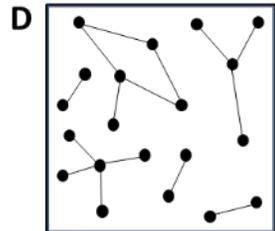
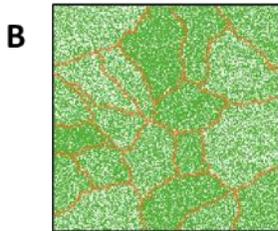
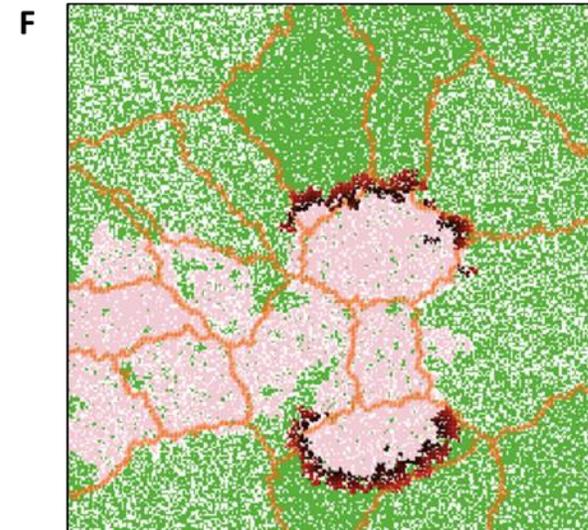
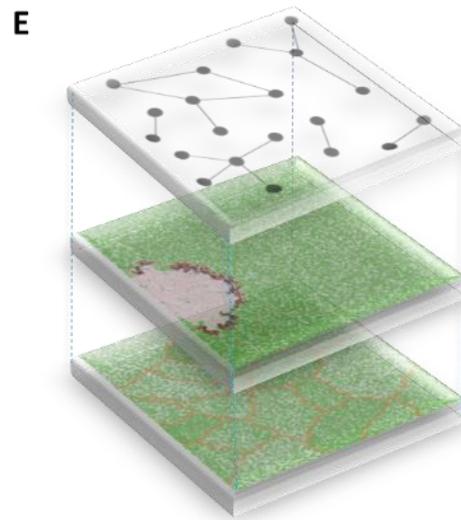
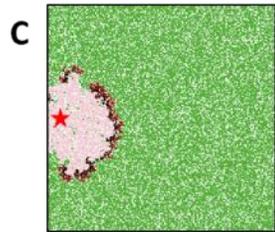
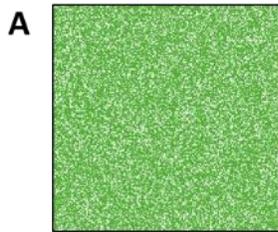
(B)

(C)

(D)

(E)

(F)



Modélisation

Simulation

Analyse des résultats

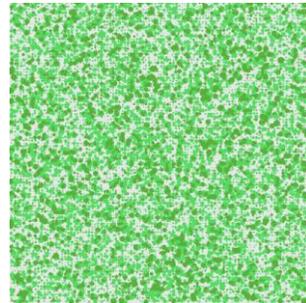
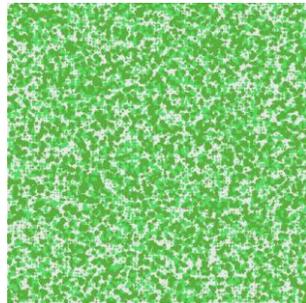
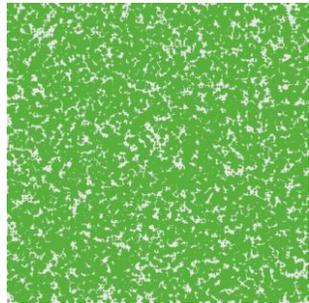
Granularité du modèle et construction du paysages forestier

Granularité du modèle (étape préalable)

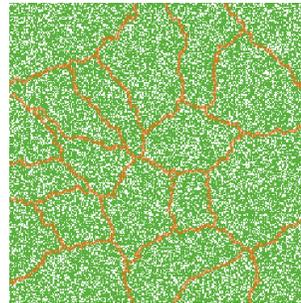
- Détermination des échelles pertinentes d'analyse, tant du point de vue **spatial** (échelle géographique à considérer) que du point de vue **temporel** (pas de temps et horizon de simulation)
- **Granularité** liée aux caractéristiques du bioagresseur d'intérêt, aux données et connaissances disponibles, aux stratégies de lutte existantes

Paysage forestier (théorique)

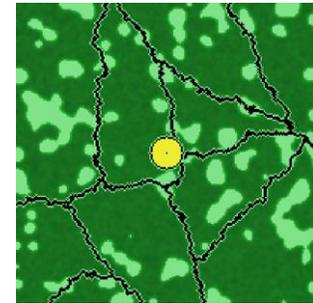
- Paysage composé de parcelles, potentiellement hétérogènes, gérées par des propriétaires forestiers, qui sont eux-même hétérogènes (ex. gestionnaire public vs. privé). Différents degrés de réalisme possibles (→ SIG)
- Caractéristiques « physiques » du paysage, mais paysage évoluant aussi au cours du temps, de façon naturelle (croissance des arbres, régénération naturelle, mortalité, ...), en lien avec les bioagresseurs, ou sous influence des activités humaines (gestion forestière, stratégies de lutte mises en œuvre, ...) et les conditions climatiques



Peuplements (+/-) purs ou mélangés



Mosaïque paysagère

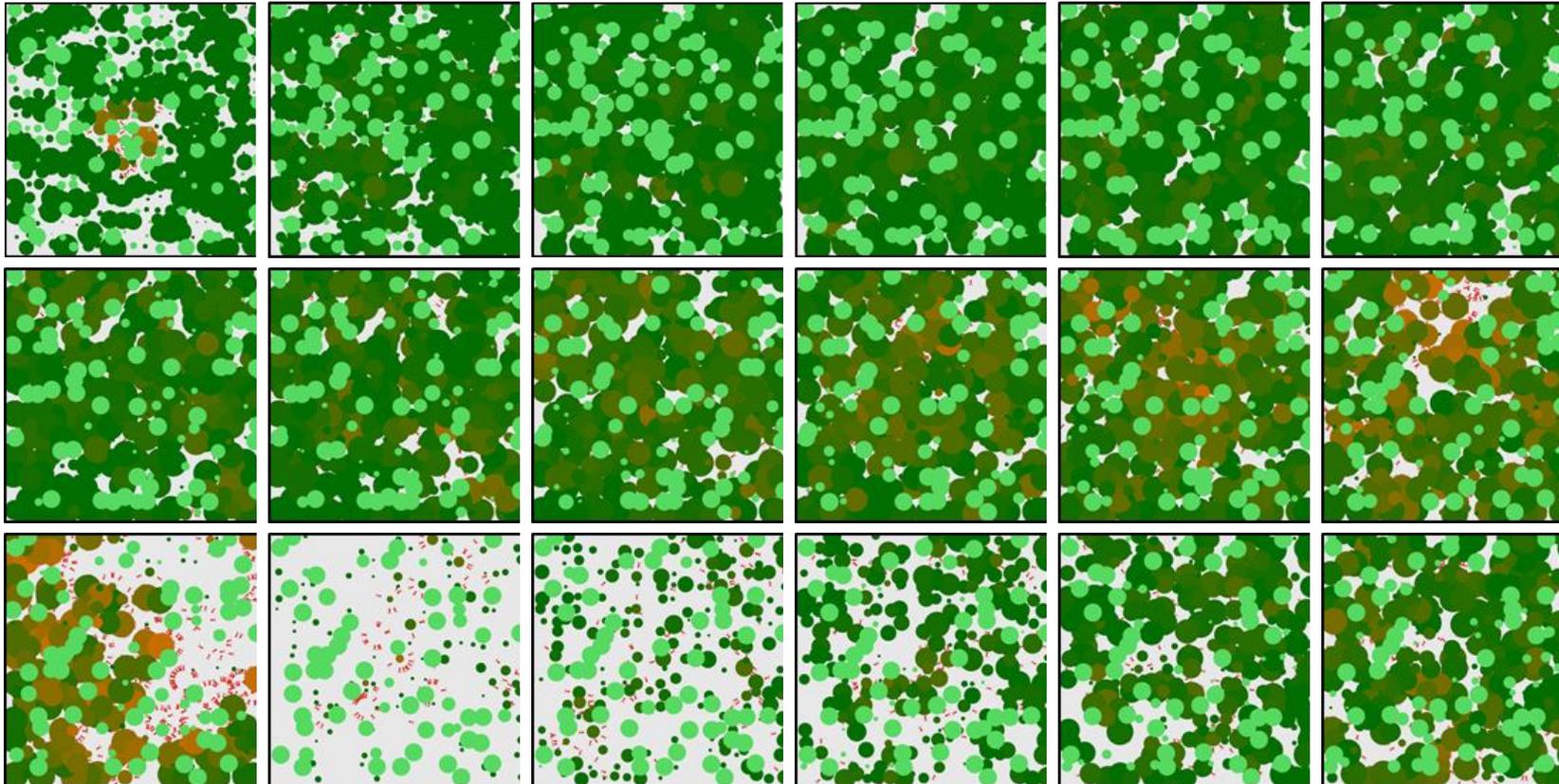


Paysage (+/-) anthropisé

Modélisation du processus de diffusion

Diffusion du bioagresseur à l'échelle du paysage

- Dynamique de population de l'insecte (naissance, mouvement, reproduction, mortalité)
- Processus de diffusion impacté par les conditions climatiques et les caractéristiques du paysage, qui sont elles-mêmes impactées par le processus de diffusion et les stratégies de lutte mises en œuvre



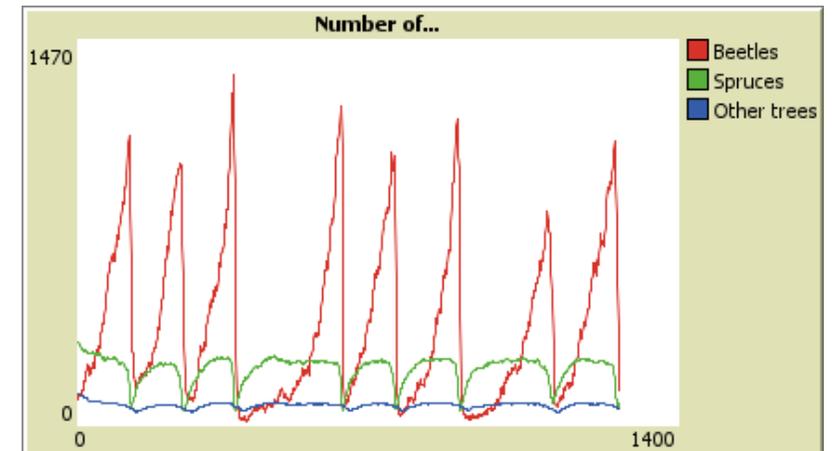
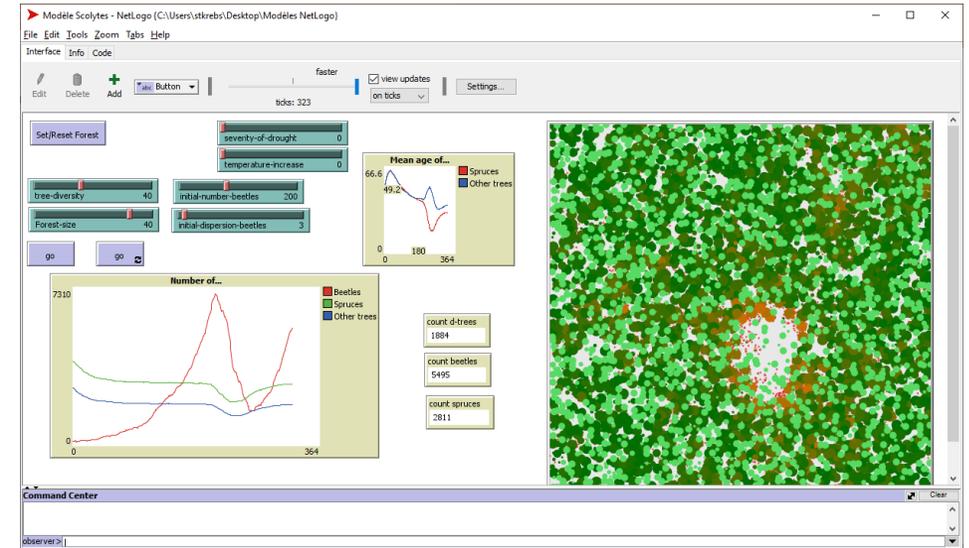
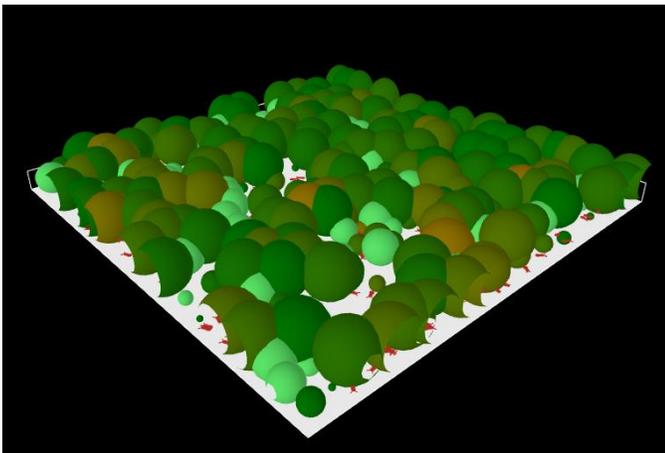
Comportements des propriétaires forestiers

- Les propriétaires forestiers prennent individuellement leurs décisions (de gestion forestière comme de lutte contre le bioagresseur) à l'aune des caractéristiques de leurs parcelles (notamment sur le plan sanitaire), décisions qui modifient en retour les caractéristiques du paysage.
- Grande souplesse permise par les modèles à base d'agents en matière de formalisation des comportements individuels
 - Implémentation systématique (e.g. réglementation)
 - Optimisation des décisions (y.c. intertemporelle, multicritère)
 - Règles de décisions moins sophistiquées (heuristiques)
- Prise en compte des interactions entre agents et de leur hétérogénéité (relations de voisinage, réseaux).

Simulation du modèle

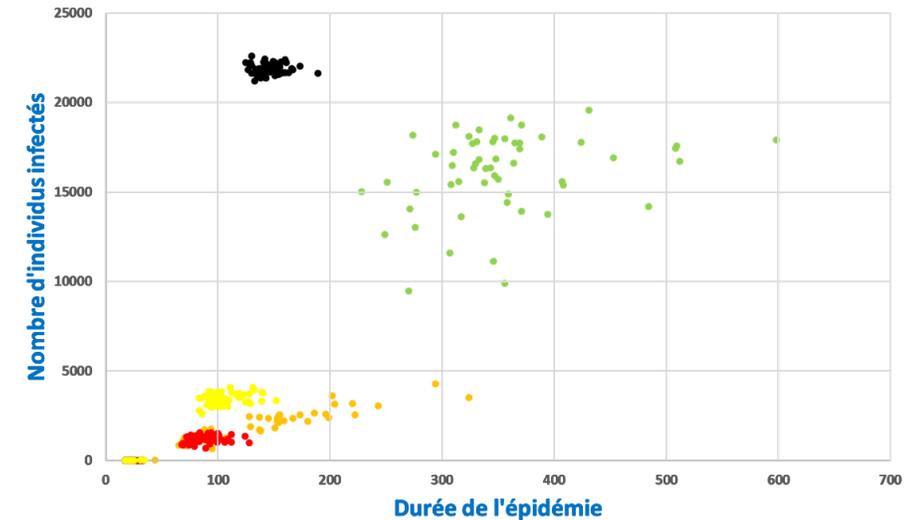
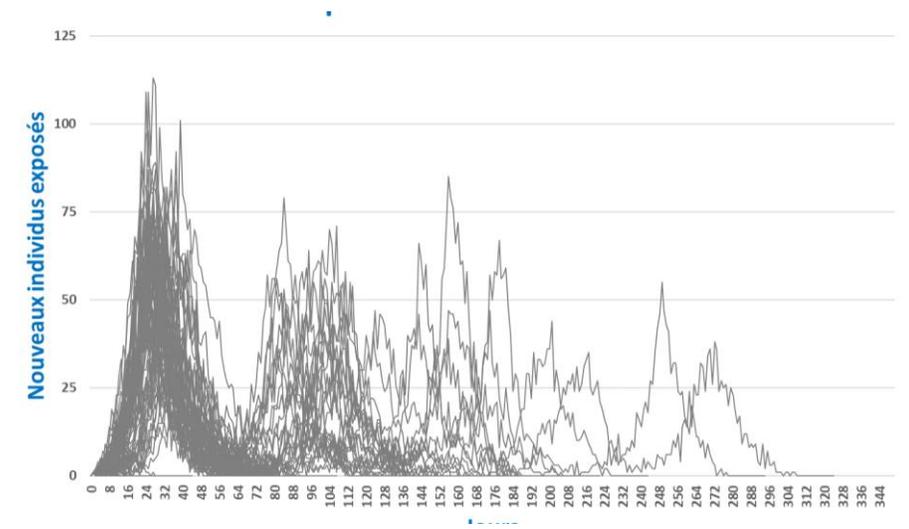
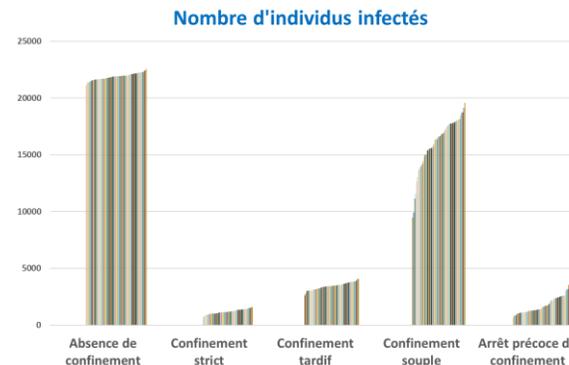
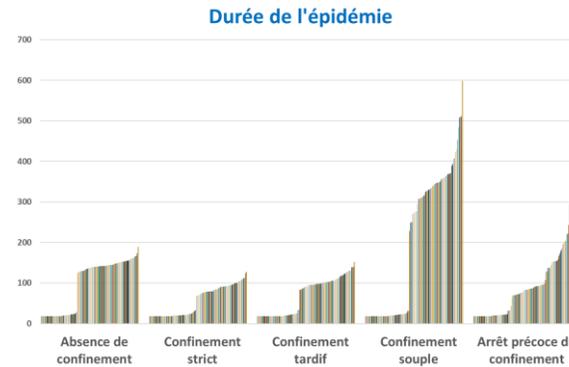
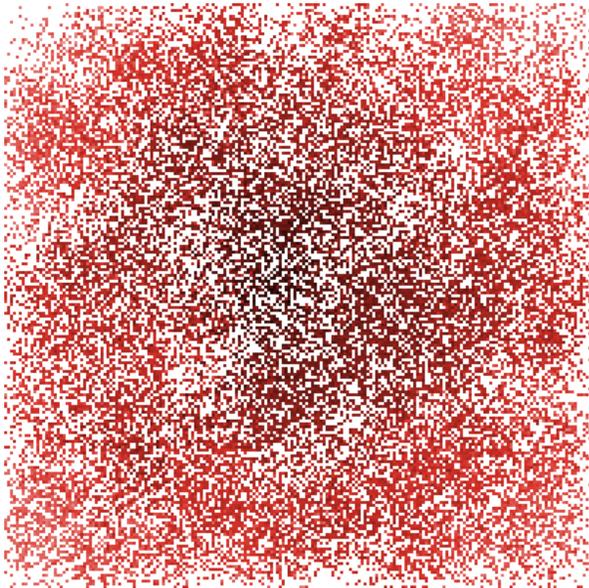
Exercices de simulation (exemples) :

- en faisant varier les caractéristiques du paysage (e.g. homogène vs. hétérogène)
- en faisant varier les points d'introduction du bioagresseur
- en considérant différents contextes sanitaires (introduction du bioagresseur, diffusion en cours, endémicité, etc.)
- en envisageant différents scénarios climatiques
- ...



Analyse des résultats (illustration)

- Caractériser l'émergence de patterns
- Hiérarchisation des dispositifs de coordination : évaluation mono-critère (sanitaire, économique, environnemental) ou multi-critères
- Variabilité des résultats/analyse de sensibilité



Conclusion/perspectives

Modification des pratiques scientifiques

- Modèles à base d'agents propices au dialogue interdisciplinaire (décloisonnement disciplinaire, émergence de nouvelles questions de recherche, éventuellement portées par les SHS)
- Plus-value disciplinaire :
 - dimension intégrative : propice à l'intégration de travaux théoriques ou empiriques
 - fertilisation croisée avec d'autres approches : simulation participative

Interactions avec les acteurs de terrain

- Démarche participative de modélisation, associant les acteurs de terrain :
 - Définition de la question de recherche (bioagresseur, scénarii à tester, ...)
 - Co-construction du modèle
 - Interprétation des résultats
- Changement de point de vue :
 - Outil d'aide à la décision vs. outil d'aide à la réflexion
 - Eventail des possibles plutôt que de simples résultats chiffrés
- Défi de la communication (visualisation graphique de processus spatio-temporels)
- **Modélisation « de crise » (aide à la décision dans un contexte d'incertitude scientifique)**

Merci de votre attention !

stephane.krebs@inrae.fr

