

Axe

Environnement

Projet GEODIFF

# Contexte

## \*Projet PEPS Rupture:

- \* projet de recherche exploratoire **INS2I**
- \* plusieurs chercheurs d'au moins **deux** disciplines
- \* centré autour d'un **projet concret**
- \* Budget max : 2x10k€ : **8k€ obtenus en juin 2011**



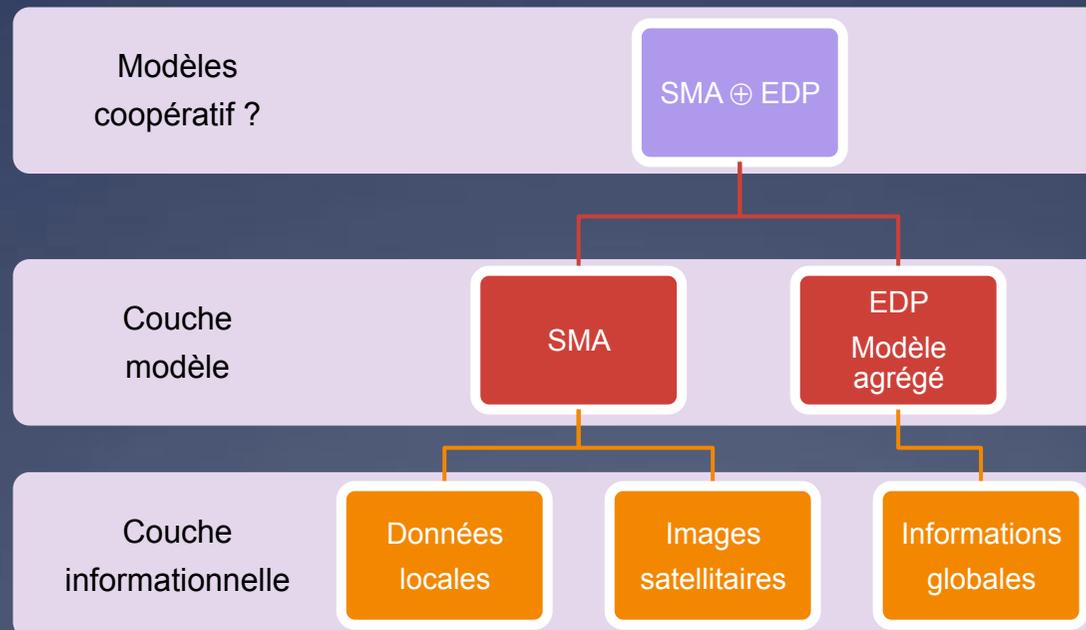
# Le projet

- \* Etude des processus de diffusion géographique au moyen de l'image et des systèmes multi-agents :
  - \* application à la modélisation de phénomènes de dégradation complexes de milieux naturels
- \* Dégradation : phénomène complexe
  - \* ruissellement, propagation de champignon, feu de forêt...
  - \* Modélisation :
    - \* Exploitation de données (mesures) acquises à une échelle inférieure [Guermond, 2008] analysées au moyen d'un SMA (bottom-up)
    - \* Propagation de phénomènes physiques sous-jacents tels que la diffusion [Langlois et Daudé, 2007] (top-down)
- \* Coopération ?

# Le projet

## \* Objectifs :

- \* concevoir une infrastructure d'informations intégrant des données images **et** la gestion des connaissances des phénomènes modélisés
- \* coopération SMA-EDP gérant les propriétés du temps, de l'espace et des données
- \* accroître les qualités de prévisions et de décision



# Cas d'étude

- \* Gestion de la ressource forestière d'un domaine

- \* Actions :

  - \* prélèvement de la ressource

  - \* plantation

- \* Critères d'évaluation de la ressource:

  - \* qualité et quantité de ressource, diversité des espèces, disponibilité en bois, quantité de biomasse, facteur économique,...

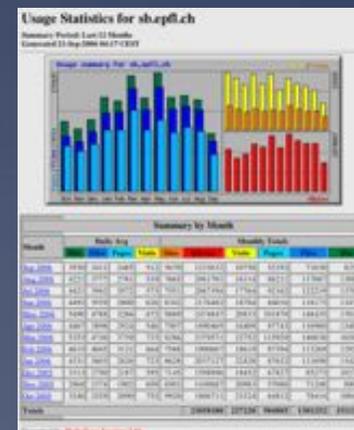
  - \* Nécessité de définir un indice de qualité global du domaine

- \* Objectif : construire un outil pour des décideurs

  - \* directions régionales de l'agriculture et de la forêt,

  - \* centre régional de la propriété forestière (CRPF)

  - \* inventaire forestier national (IFN)



# Cas d'étude.



- \* Domaine forestier  $\Leftrightarrow$  Système global
- \* Objectif de gestion durable de la ressource :
  - \* problématique à multiples facteurs de dégradation
  - \* optimisation globale du système



- \* Démarche adoptée :
  - \* ramener cette optimisation globale à celle de l'optimisation indépendante de sous-systèmes, la poursuite de l'optimum collectif étant assuré par l'action d'un niveau hiérarchique supérieur
  - \* Exploitation à l'échelle macroscopique d'un ensemble de données acquises à une échelle inférieure sur des sous-systèmes de dégradation pour une prise de décision / gestion optimum de la ressource





# Cas d'étude

MM

Coordonnateur Système décisionnel  
Gestion de la ressource / informations

*Actions*

- prélèvement : court terme
- plantation : long terme



Sous-systèmes facteurs naturels de dégradation de la ressource

AR



*Flux d'information*

SS1  
Feu de forêt



Modèles de diffusion géographique  
EDP de la chaleur  
EDP de diffusion non linéaire

SS2 :  
Propagation de champignons



Système multi-agents :  
*Modèle logistique déterministe ou probabiliste au niveau des individus*

*Coopération entre sous-systèmes*

SS3 :  
Encombrement végétaux



Modèle proie-prédateur  
*Compétition entre espèce d'arbres / végétaux –arbres, croissance des plantes,...*



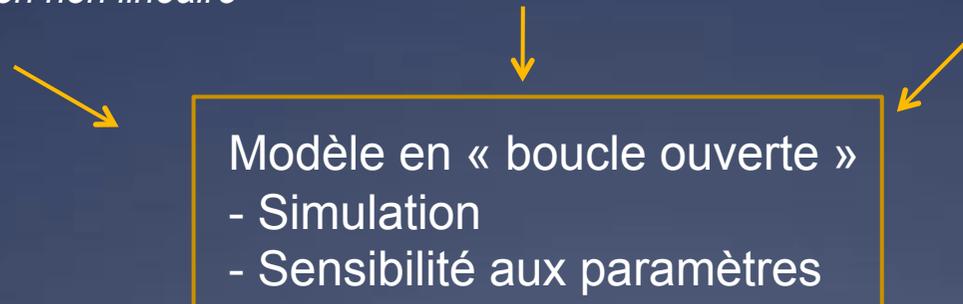
# Cas d'étude



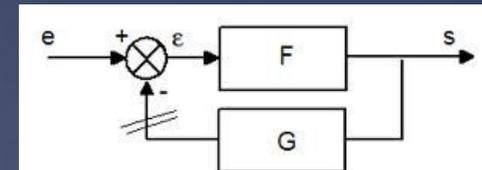
Modèles de diffusion géographique  
*EDP de la chaleur*  
*EDP de diffusion non linéaire*

Système multi-agents :  
*Modèle logistique déterministe*  
*ou probabiliste au niveau des individus*

Modèle proie-prédateur  
*Compétition entre espèce d'arbres / végétaux –arbres ...*

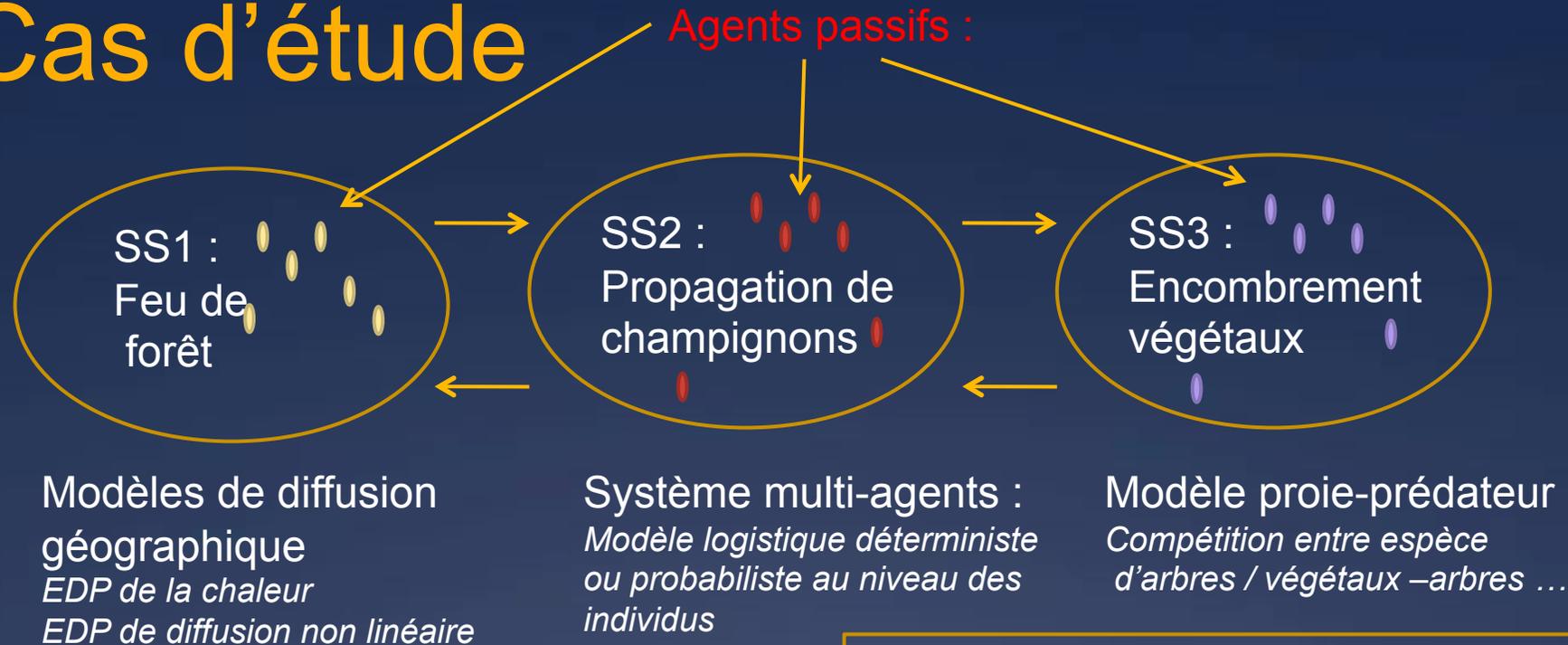


Modèle en « boucle ouverte »  
- Simulation  
- Sensibilité aux paramètres



Optimisation *a priori*

# Cas d'étude



Les sous-systèmes de dégradation sont observés au travers d'agents distribués géographiquement, hétérogènes avec un objectif préventif et opérationnel de gestion des ressources

**Agent passif** : agent intelligent

- muni de capteurs
  - muni d'une stratégie locale
  - doué de moyens de **signalisation**
- Améliorer par le choix de leur stratégie l'information contenue reçue par les décideurs de la couche supérieure

*Exemples de capteurs : capteur hydrométrique, de température, de luminosité, ...*

# Cas d'étude

Coordonnateur Système décisionnel  
Gestion de la ressource / informations

Actions

- prélèvement : court terme

- plantation : long terme

Théorie des jeux à champ moyen :  
**contrôle optimal de la gestion de la  
ressource (Système en boucle fermée)**

# Cas d'étude

Coordonnateur Système décisionnel  
Gestion de la ressource / informations

*Actions* - prélèvement : court terme  
- plantation : **long terme**

Modèle d'agrégation :  
*simplification du  
phénomène, modèle  
périodique, réduction  
du nombre de variable  
d'état.*

→ *Action : renouvellement  
des ressources*

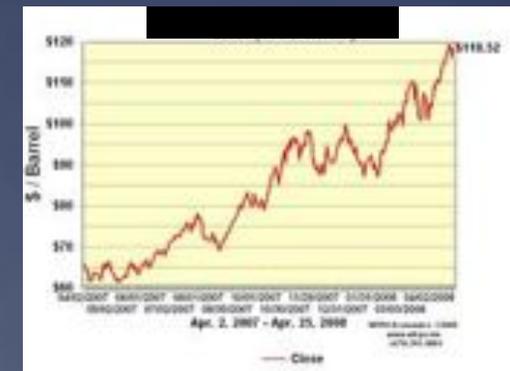
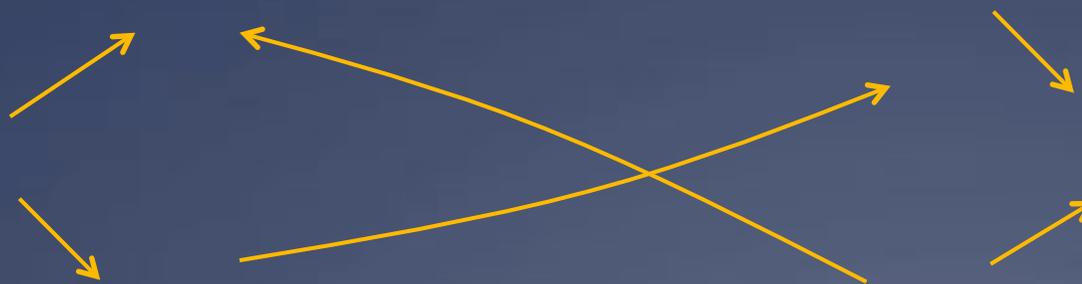
# Cas d'étude

- L'interaction avec les autres agents passe par l'indice de qualité global du domaine forestier

qualité et quantité de la ressource,  
diversité des espèces, disponibilité en bois,  
quantité de biomasse, facteur économique,  
...

Prélèvement

qualité



# Les Outils

- \* EDP
  - \* MIA : modélisation mathématique
  - \* ETIS : simulations + connaissances images
- \* SMA :
  - \* Modèles EDP
  - \* Modèles stochastiques
- \* Théorie des jeux à champs moyens

# Compétition non-linéaires

- \* On considère 2 espèces  $u(x,t)$  et  $v(x,t)$  en interaction
- \* L'évolution de  $u$  dans le temps est donnée par :
  - \*  $J_u = -d_{11}(u,v) \nabla u - d_{12}(u,v) \nabla v$
  - \* avec  $d_{11} > 0$  (loi de Fick : **diffusion proportionnelle au gradient de concentration**)
  - \*  $d_{12} < 0$  (appétence pour  $v$ ) ou  $> 0$  (compétition)
- \* L'interaction se traduit alors par :
  - \*  $u_t - \text{div}(d_{11}(u,v)\nabla u + d_{12}(u,v)\nabla v) = f(u,v)$
  - \*  $v_t - \text{div}(d_{21}(u,v)\nabla u + d_{22}(u,v)\nabla v) = g(u,v)$
- \* Pb : calculer l'évolution en fonction des paramètres

# Compétition non-linéaires

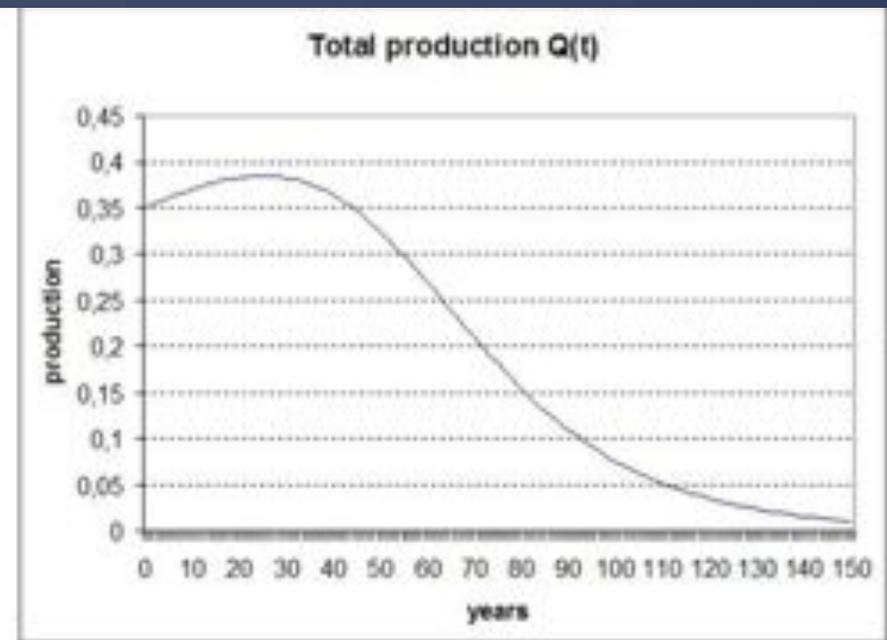
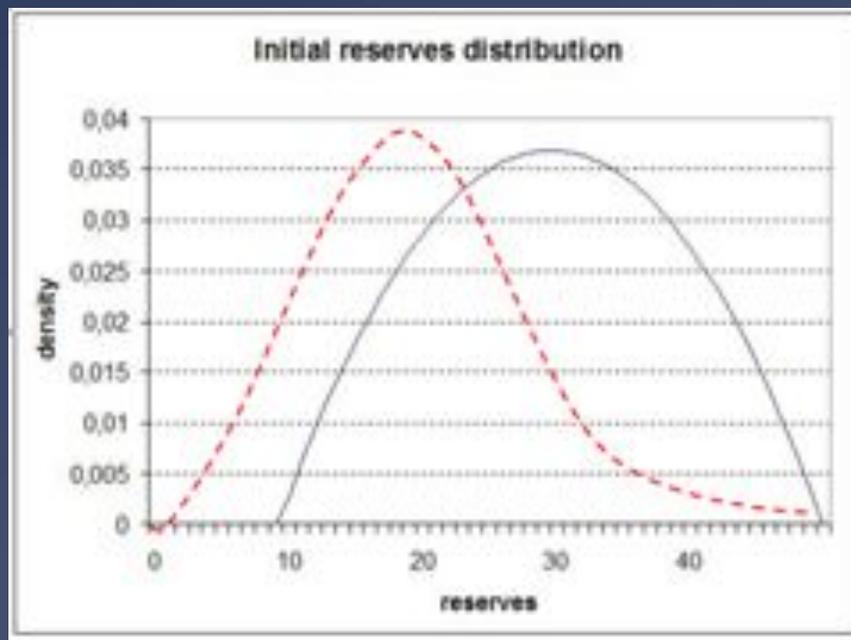
- \* Cas particulier :
- \*  $u_t - d_{11}\Delta u = u(\alpha_1 - \beta_1 u - \gamma_1 v)$
- \*  $v_t - d_{22}\Delta v = v(\alpha_2 - \beta_2 v - \gamma_2 u)$ 
  - \*  $\alpha_i$  le taux de croissance
  - \*  $\beta_i$  la compétition intra-spécifique
  - \*  $\gamma_i$  la compétition inter-spécifique

# Théorie des jeux à champs moyen

- \* Introduite en 2005 par J.-M Lasry et P.-L Lions :
  - \* pour décrire des situations d'équilibre en considérant un continuum d'agents :
    - \* branche de la théorie des jeux et interactions de type champ moyen entre agents
  - \* la solution n'est autre que l'asymptotique d'un équilibre de Nash dans un jeu à N joueurs qui optimisent un critère
- \* L'équilibre de Nash
  - \* Dans un jeu à deux joueurs, un équilibre de Nash est une situation dans laquelle chaque joueur choisit sa meilleure réponse compte-tenu de la réponse de l'autre, et les stratégies de chaque joueur sont mutuellement cohérentes :
    - \* Si 1 a intérêt à jouer A quand 2 joue B, et que 2 a intérêt à jouer B lorsque 1 joue A, alors la situation où A et B sont jouées est un équilibre de Nash.

# Théorie des jeux à champs moyen

- \* Un exemple d'application :
  - \* chaque producteur a une réserve pétrolière (position dans le jeu) ; le contrôle de l'agent est la vitesse à laquelle il produit (et épuise donc sa réserve) (vitesse dans le jeu) ;
  - \* le caractère stochastique vient de la difficulté d'estimation de la réserve ;
  - \* l'interaction avec les autres agents passe par le prix de vente (qui dépend de l'évolution globale des réserves) ;
  - \*  $m$  est la distribution des réserves parmi les pétroliers ;  $u$  est le profit (intertemporel) d'un pétrolier.



# Plateforme SMA NetLogo

- \* Plateforme de développement multi-agents
  - \* Très utilisée dans le monde académique et pédagogique
  - \* Possède de nombreux exemples d'implémentation documentés
  - \* Un test de comparaison effectué lors d'un stage L3I a montré la supériorité de cette plate-forme en termes de :
    - \* possibilité d'alimenter avec des données images et/ou geo-localisées
    - \* facilité de description des algorithmes agents et environnement
    - \* facilité d'utilisation
    - \* langage de programmation
    - \* Interopérabilité

# Bilan d'activité

- \* SS1 :
  - \* Stage ETIS :
    - \* Étude des travaux mettant en jeu les phénomènes de diffusion en S
    - \* Développement bibliothèque Matlab
    - \* mise en évidence que les EDP utilisées en restauration d'image pouvaient servir de socle commun pour enrichir les modèles d'évolution
- \* SS2 :
  - \* Stage L3I :
    - \* étude préparatoire des différentes plateformes de simulation de systèmes multi-agents (GAMA, NetLogo...) sur un problème proie/prédateur
  - \* Etude exploratoire implémentation modèles MIA
- \* SS3 :
  - \* Stage MIA : modèles non-linéaires de compétitions inter-espèces
- \* Coordinateur:
  - \* étude bibliographique théorie des jeux à champs moyens

# Travaux en cours

- \* SS1 :

- \* Stage ETIS : « Modélisation de phénomènes géographiques de type diffusif au travers d'un Système Multi-Agents pour la gestion intelligente du patrimoine forestier »

- \* SS2 :

- \* Stage L3I : « *Utilisation du logiciel de gestion multi-agent NetLogo pour la simulation des compétitions végétales inter-espèces* »

- \* SS3 :

- \* Stage MIA : modèles non-linéaires : cas 3 espèces

- \* Coordinateur:

- \* Implémentation théorie des jeux à champs moyens

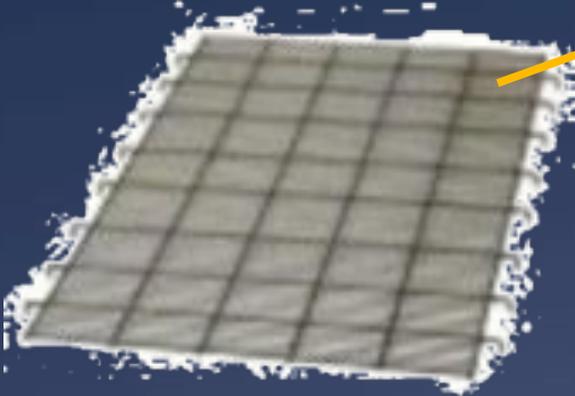
# Perspectives

- \* Construire un SMA capable de décrire les phénomènes en S :
  - \* de manière asymptotique
  - \* localement à chaque itération de la diffusion
- \* Mise en place d'une stratégie pour la gestion optimale des agents permettant de décrire le processus en évolution
- \* Utilisation de la théorie des jeux à champs moyens pour :
  - \* gérer au mieux la ressource en agents au niveau de la description d'un des sous-systèmes proposés (SS1, SS2 ou SS3)
  - \* gérer globalement une ressource finie en agents devant être distribuée sur chacun des sous-systèmes en interaction

# Cas d'étude

Coordonnateur Système décisionnel  
Gestion de la ressource / informations  
*Actions* - prélèvement : court terme  
- plantation : long terme

**MFG : contrôle optimal  
de la gestion de la ressource  
(Système en boucle fermée)**



\*: prélèvement de la ressource en  
tant que gestionnaire local

**1 agent actif\* par cellule de la grille**

**Cellule** : constitue une réserve de ressources

- **Le contrôle de l'agent** est la vitesse de prélèvement de la ressource (conduit à un épuisement de la ressource)
- **Le caractère stochastique** vient de la difficulté d'estimation de la réserve
- **L'interaction avec les autres agents** passe par l'indice de qualité global du domaine forestier
- On définit **une distribution des ressources** sur la grille

Evaluation de la ressource via les capteurs passifs qui prennent en compte *les sous-systèmes facteurs de dégradation ET l'action volontaire de prélèvement*

Contrôle optimal s'opère par le prélèvement (action à court terme)

# Cas d'étude

Les sous-systèmes sont observés  
au travers **d'agents passifs distribués**  
**géographiquement, hétérogènes et mobiles**  
avec un objectif préventif et opérationnel de  
gestion des ressources



Gestion par un deuxième MFG de la distribution géographique optimale  
des agents passifs <-> optimisation de la répartition des agents de  
signalisation

(fonction de coût de déplacement de l'agent,...)