

# *Approche expérimentale pour la compréhension des systèmes multi-agents réactifs*

Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents  
Jeudi 19 octobre 2006

François KLEIN, Christine BOURJOT, Vincent CHEVRIER



Equipe MAIA

# Contexte

- Système multi-agents réactif
  - Simplicité individuelle mais complexité collective
- Difficultés
  - Compréhension
    - Lien entre comportements individuels (paramètres locaux) et comportement collectif (propriétés globales)
  - Sensibilité aux paramètres et aux conditions initiales
    - Faible variation quantitative → variation qualitative
  - Paramètres nombreux
    - Exploration de l'espace des paramètres longue et coûteuse

# Objectif

- Comprendre le SMA (lien micro-macro)
- En construisant un modèle du système
  - De manière expérimentale
    - Bruce Edmonds, 04 (approche expérimentale)
    - Frédéric Amblard, 03 (plans d'expériences dynamiques)
  - Principe
    - Simulations pour différentes valeurs de paramètres
    - Approximation du comportement global
  - Doit être plus rapide en calcul que le système initial
    - Permet le contrôle du système

# Illustration : dynamique de population

- Des moutons dans un champ
  - Reproduction, disparition, déplacement aléatoire, croissance de l'herbe jusqu'à une limite, etc.
- Modélisation multi-agents
  - Nombreux paramètres
  - Quelle est leur influence individuelle / conjuguée ?



# *Proposition*

- Création d'un modèle : approximation de fonction
  - Paramètres → descripteurs du comportement global
  - En minimisant le nombre d'expériences (simulations)
- Démarche expérimentale
  - Choix des valeurs de sortie
  - Restriction du domaine d'étude
  - Choix d'un modèle
  - Entraînement du modèle
  - Vérification du modèle

# *Plan et objectif de l'exposé*

- Objectif : valider la diminution du nombre d'expériences nécessaires à la création du modèle
- Plan
  - Choix des valeurs de sortie
  - Restriction du domaine d'étude
  - Choix d'un modèle
  - Entraînement du modèle
  - Vérification du modèle
    -
  - Evaluation de la proposition

# *Etape 1 : Choix des descripteurs du comportement*

- On choisit des valeurs
  - Qui permettent d'identifier le comportement
    - Différencier les comportements qualitatifs
    - Connaître des caractéristiques quantitatives du comportement
  - Par l'observation et la connaissance que l'on a du SMA
    - Dépend du point de vue choisi, de l'objectif de l'étude
    - Peuvent être des agrégations de valeurs observables
  - Existence de telles valeurs (intuitivement)
    - On observe un comportement qualitatif particulier que l'on veut comprendre
    - Donc on est capable de le décrire formellement

# Etape 1 : Choix des descripteurs dans l'exemple

- On observe 4 comportements qualitatifs différents de la population

- Extinction



- Stabilisation



- Oscillation



- Chaos



# Etape 1 : Choix des descripteurs dans l'exemple

- On observe 4 comportements qualitatifs différents

- Extinction



$$\mu = 0, \sigma = 0, cv0 = 100\%$$

- Stabilisation



$$\mu = m, \sigma \approx 0, cv0 = 0\%$$

- Oscillation



$$\mu = m, \sigma < m, cv0 = 0\%$$

- Chaos



$$\mu = m, \sigma \approx m, cv0 \geq 0\%$$

- Choix de 3 descripteurs

- $\mu$ ,  $\sigma$  et  $cv0$  : moyenne, écart-type et nombre d'annulations sur un laps de temps après convergence
- Rendent compte du comportement en première approximation

## *Etape 2 : Restriction du domaine d'étude*

- Espace des paramètres très grand
- Diminuer le nombre de paramètres
  - Choix des paramètres utiles au regard de l'étude
    - Par une connaissance du système et l'observation, agrégation
  - Choix des paramètres influents sur les descripteurs
    - Plans d'expérience (outil statistique)
- Limiter l'espace des paramètres
  - Plages inutiles :
    - Combinaison de paramètres impossible
    - Comportement trivial

## *Etape 2 : Restriction du domaine d'étude dans l'exemple*

- Diminuer le nombre de paramètres
  - Paramètres inutiles pour l'étude
    - Exemple : quantité maximale de nourriture disponible
  - Paramètres influents (retenus)
    - Taux de croissance
    - Consommation maximale
    - Energie dépensée
    - Seuil d'énergie pour une naissance
- Limiter l'espace des paramètres
  - Exemple de comportement trivial :
    - L'énergie dépensée est supérieure à la consommation maximale

## *Etape 3 : Choix d'un modèle*

- Le modèle doit être en adéquation avec le SMA
  - Pas trop simple ni régulier (Ex. polynôme)
- Et permettre le contrôle du système
  - Inversibilité ou rapidité de calcul
- Modèle choisi pour la dynamique de population
  - Modèle à éléments finis :
    - Maillage + approximation linéaire sur chaque maille
  - Mailles carrées (généralisation des quadrees)
    - Simplicité du modèle et des calculs

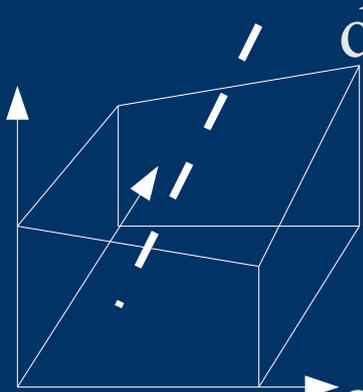
## *Etape 4 : Entraînement du modèle*

- Approximer le comportement du SMA par le modèle
  - Comportement complexe, variations non homogènes
  - Maximiser la précision en minimisant les réplifications
- Proposition à valider : utilisation de plans d'expériences dynamiques (PED)
  - Planification dynamique : le choix du prochain point d'expérience dépend des résultats précédents
  - Homogénéise la précision du modèle sur l'espace des paramètres (précision insuffisante  $\Rightarrow$  expérience supplémentaire)
  - Fonctionne avec différentes familles de modèles

# Etape 4 : Entraînement du modèle à éléments finis à l'aide d'un PED

- Bases de l'algorithme

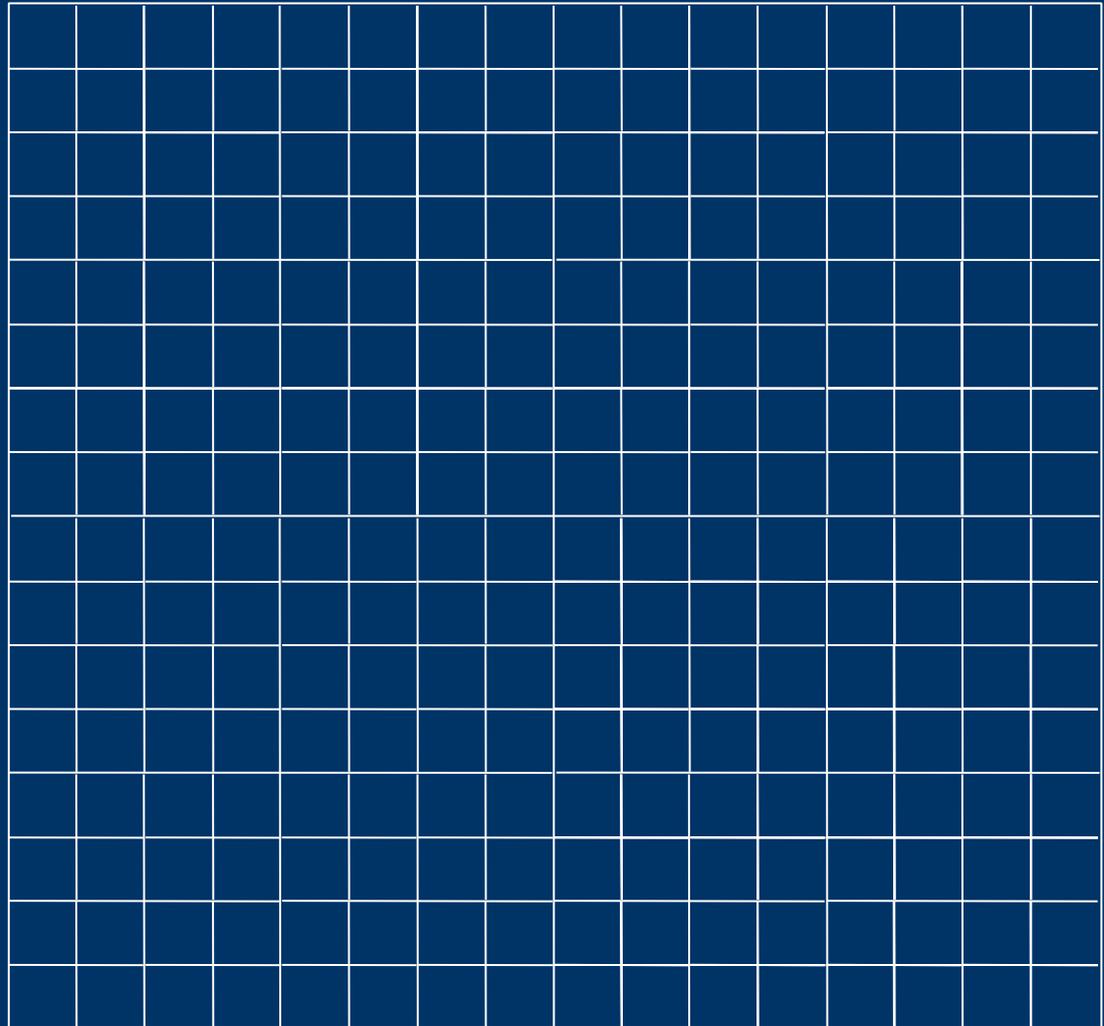
- Initialement, l'espace d'étude forme une seule maille
- On explore une maille en vérifiant sa capacité d'approximation



- On compare les pentes au bord de la maille à la pente moyenne
- Si l'écart moyen est inférieur à un seuil  $\delta$ , la maille fournit une bonne approximation (linéaire) locale du comportement
- Si la maille est une bonne approximation, on la garde
- Sinon, on la subdivise et on considère les sous-maillles comme devant être explorées
- On fixe une taille minimale des mailles pour terminer

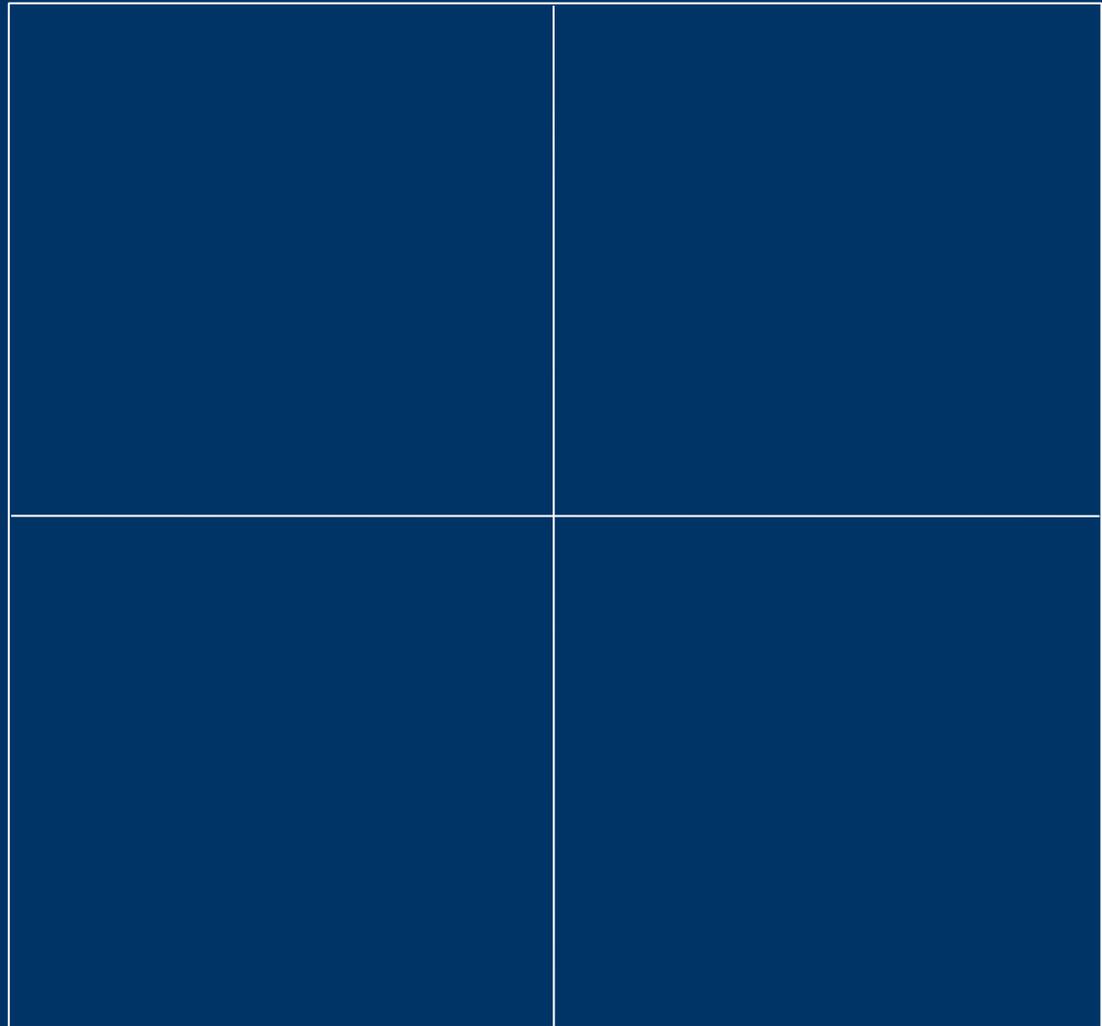
# *Etape 4 : Schématisation d'un plan d'expériences non dynamique*

- Plan d'expérience non dynamique (complet)
  - 16 divisions, 4 paramètres
  - $17^4$  points d'expérience



# *Etape 4 : Schématisation du plan d'expériences dynamiques*

- Plan d'expérience non dynamique (complet)
- Plan d'expériences dynamique
  - Première subdivision

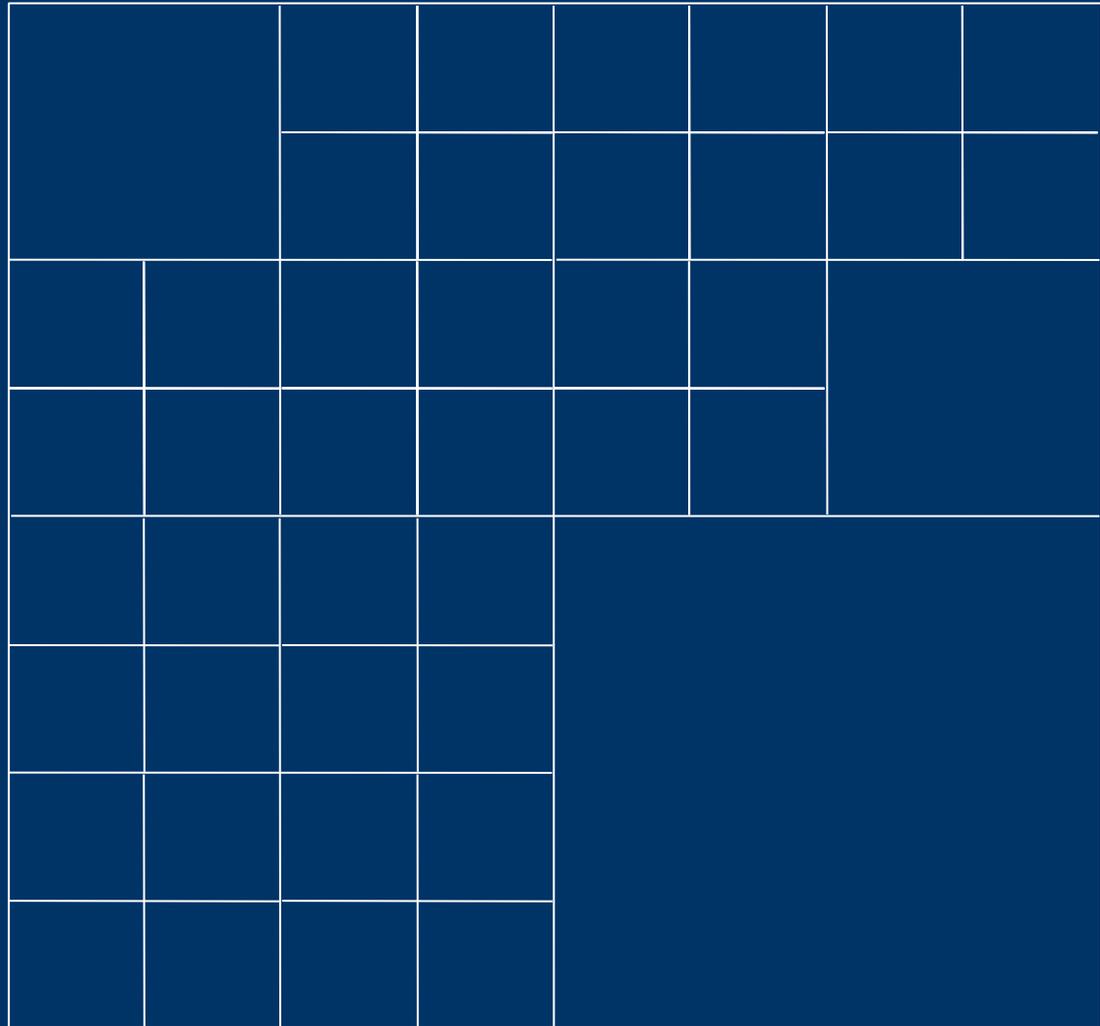


# Etape 4 : Schématisation du plan d'expériences dynamiques

- Plan d'expérience non dynamique (complet)
- Plan d'expériences dynamique
  - Première subdivision
  - Seconde subdivision

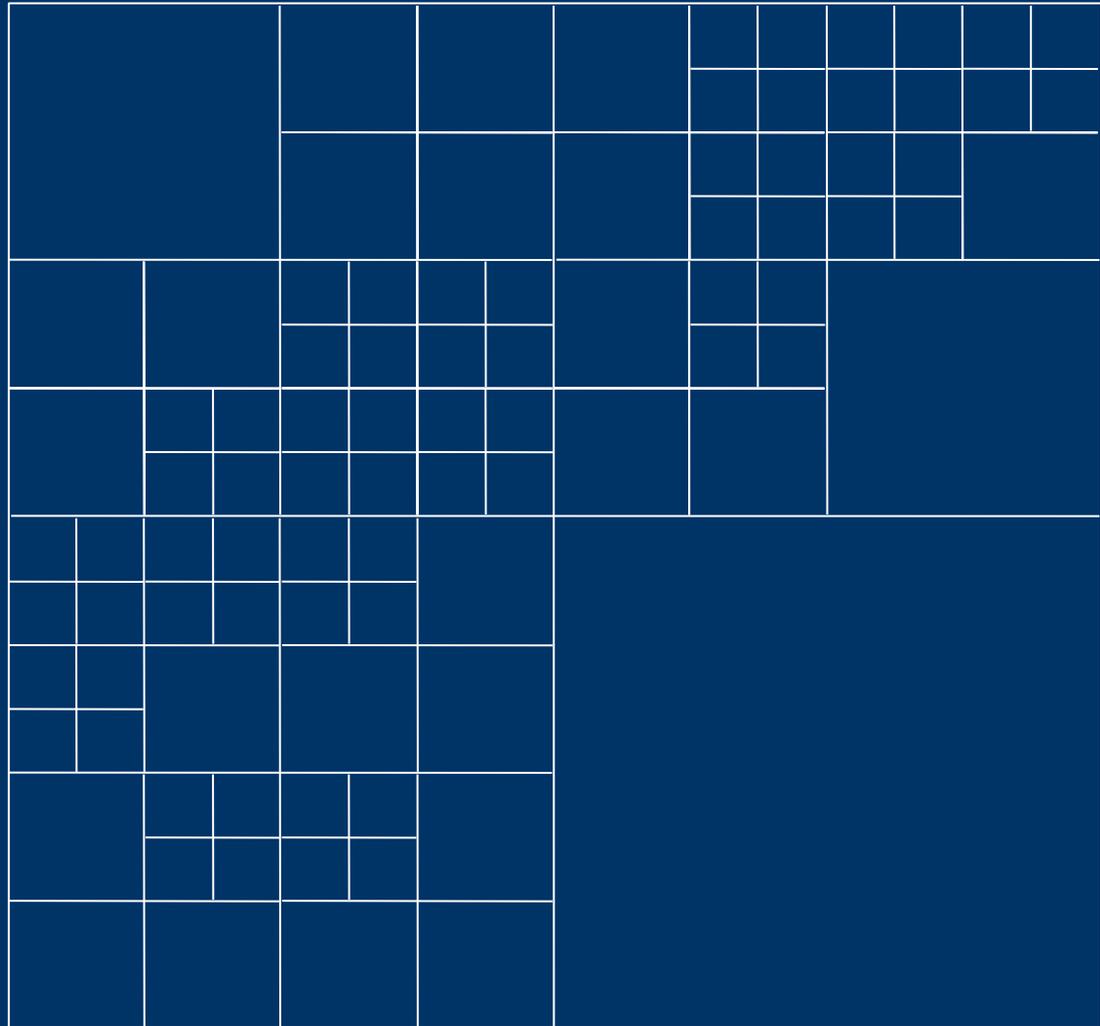

# Etape 4 : Schématisation du plan d'expériences dynamiques

- Plan d'expérience non dynamique (complet)
- Plan d'expériences dynamique
  - Première subdivision
  - Seconde subdivision
  - Troisième subdivision



# Etape 4 : Schématisation du plan d'expériences dynamiques

- Plan d'expérience non dynamique (complet)
- Plan d'expériences dynamique
  - Première subdivision
  - Seconde subdivision
  - Troisième subdivision
  - Dernière subdivision
- Réduction du nombre de points d'expériences
  - Réduction importante ?



## *Etape 5 : Vérification du modèle*

- On compare à l'aide de points d'expérience aléatoires les résultats prédits par le modèle et obtenus par simulation du SMA
- Cas de notre modèle
  - Grâce au PED, seules les mailles reconnues exploitables sont utilisables pour la vérification
    - Premier résultat : la couverture du modèle
  - Vérification standard
    - Erreur de prédiction dans les zones exploitables

# Etape 5 : Résultats et commentaires pour la vérification

- Paramètres de l'algorithme
  - Seuil d'erreur acceptable  $\delta = 5\%$ ,
  - Taille minimale des mailles :  $1/16^{\text{ème}}$  de la maille initiale

- Résultats

Descripteur	$\mu$	$\sigma$	Cv0
Couverture	100,0%	19,3%	100,0%
Erreur relative	2,9%	11,0%	0,0%

- Très bons pour les descripteurs  $\mu$  et cv0
- Moins bons pour  $\sigma$  : mailles pas encore assez fines
  - Subdivision des mailles nécessaire pour cet indicateur
  - PED encore plus efficace dans ce cas
  - Mêmes résultats avec un plan d'expériences complet

# *Validation de l'utilisation d'un PED et limitations*

- Réduction du nombre de points d'expériences
  - Seulement 1/3 de points nécessaires, très encourageant
  - En seulement 4 subdivisions
- Mais
  - Sur un unique exemple
  - Encore insuffisant pour valider la méthode elle-même
- Travail préliminaire : choix grossiers
  - Famille de modèles simple mais peu efficace
  - Découpage systématique des mailles (plan d'expériences)

# Conclusion

- Objectif initial
  - Comprendre un comportement global, émergent
- Proposition
  - Création d'un modèle
  - Problème du nombre de points d'expériences
  - Méthode pour diminuer significativement ce nombre (PED, espace des paramètres)
  - Faisabilité validée sur un exemple
- Perspectives
  - Généraliser à d'autres modèles/PED, sur d'autres SMA