

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



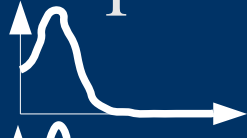
- Chaos



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

- μ , σ 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

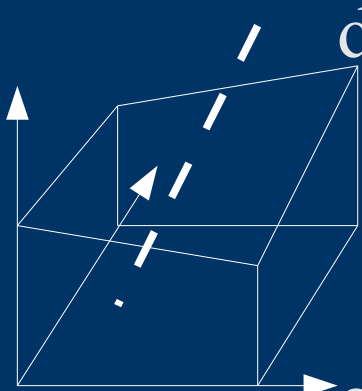
Etape 4 : Entraînement du modèle

- Approximer le comportement du SMA par le modèle
 - Comportement complexe, variations non homogènes
 - Maximiser la précision en minimisant les répliques
- 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

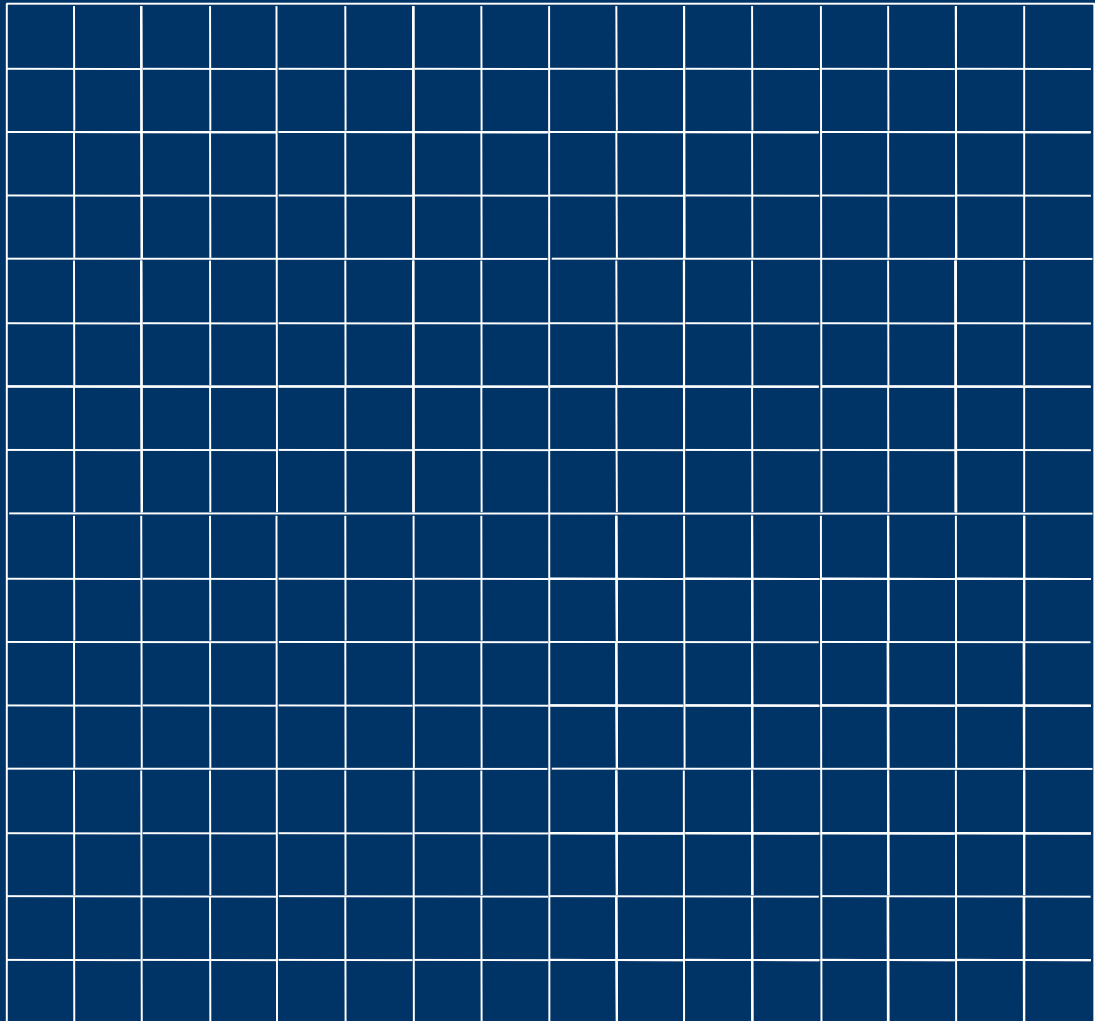
- Initialement, l'espace d'étude forme une seule maille
- On explore une maille en vérifiant sa capacité d'approximation



- On compare les pentes au bord de la maille à la pente moyenne
 - Si l'écart moyen est inférieur à un seuil δ , 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

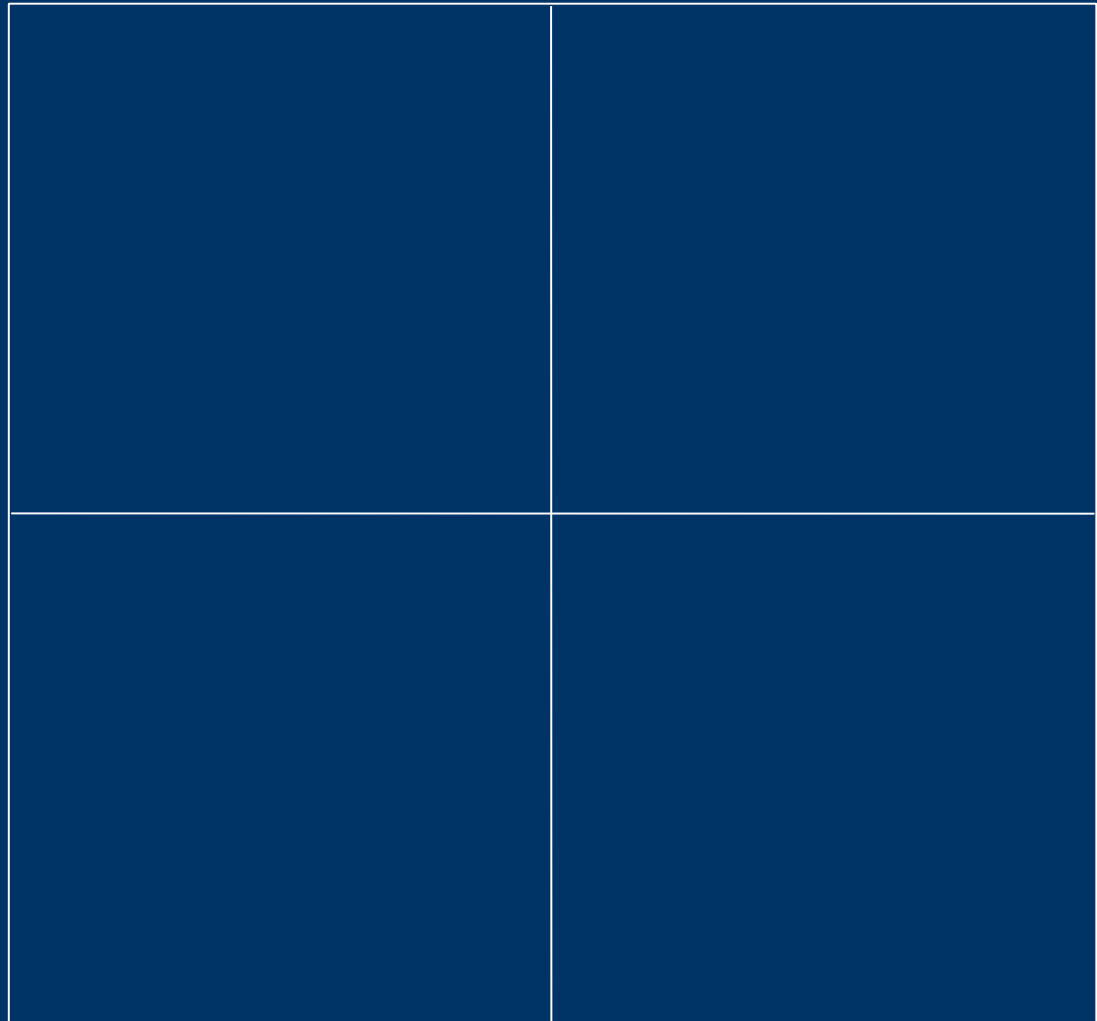
Etape 4 : Schématisation d'un plan d'expériences non dynamique

- 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

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

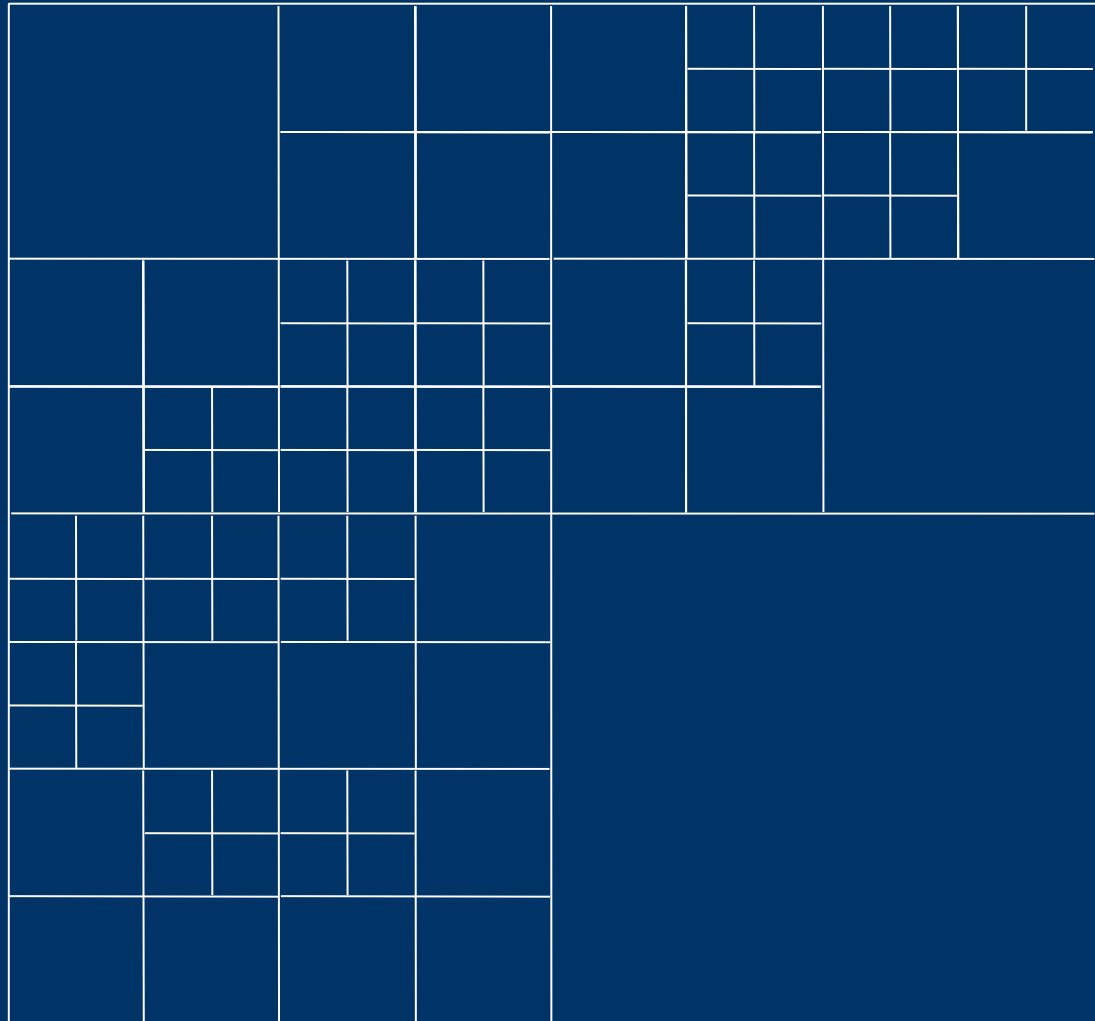
Etape 4 : Schématisation du plan d'expériences dynamiques

- 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 | μ | σ | Cv0 |
|-----------------|--------|----------|--------|
| Couverture | 100,0% | 19,3% | 100,0% |
| Erreur relative | 2,9% | 11,0% | 0,0% |

- Très bons pour les descripteurs μ et cv0
- Moins bons pour σ : 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