

# Séminaire sur les méthodes particulières pour l'estimation et la commande optimale stochastique

23 mars 2004

EDF / R&D, 1 av. du Général De Gaulle 92140 CLAMART  
salle TA224

---

## Programme de la journée

---

- 9h00 - 9h30 : Accueil des participants
  - 9h30 - 10h00 : Exposé introductif  
Nadia Oudjane (EDF/R&D, Clamart)
  - 10h00 - 11h00 : « Méthodes de Monte Carlo avec interaction pour l'inférence statistique des modèles de Markov cachés »  
François Le Gland (INRIA / IRISA, Rennes)
  - 11h00 - 11h30 : pause café
  - 11h30 - 12h30 : « Algorithmes de filtres particuliers hybrides »  
Christian Musso (ONERA, Châtillon)
- 
- 12h30 - 14h00 : pause déjeuner
- 
- 14h00 - 15h00 : « Les méthodes particulières en estimation non linéaire »  
Pierre Del Moral (Université Paul Sabatier, Toulouse)
  - 15h00 - 15h30 : pause café
  - 15h30 - 16h30 : « Commande optimale stochastique : des arbres de scénarios aux méthodes particulières »  
Guy Cohen (CERMICS, Marne-la-vallée /INRIA, Rocquencourt) et Anes Dallagi (CERMICS, Marne-la-vallée)
  - 16h30 - 17h00 : discussions

---

## Résumés des exposés

---

### **9h30 - 10h00 : Exposé introductif**

**Nadia Oudjane (EDF/R&D, Clamart)**

Le problème du filtrage non linéaire consiste à estimer la loi conditionnelle d'un processus état indirectement lié à un processus observation dont on connaît une réalisation. Le filtre de Kalman permet de résoudre ce problème de façon exacte et rapide lorsque les dynamiques de l'état et de l'observation sont linéaires et gaussiennes. En dehors de ce cas, d'autres approches telles que les méthodes particulières ont été développées. Fondées sur le principe de Monte Carlo, les méthodes particulières proposent une approximation faible de la loi conditionnelle recherchée en propageant un système de particules dans le temps.

Dans cet exposé, on présentera brièvement le principe de base des méthodes particulières pour le filtrage. Au delà du filtrage, on exposera ensuite les applications potentielles de ces méthodes pour EDF notamment pour le calage des paramètres des modèles de prix et pour les problèmes de commande optimale en gestion de production. Ces applications seront développées dans les exposés suivants.

### **10h00 - 11h00 : « Méthodes de Monte Carlo avec interaction pour l'inférence statistique des modèles de Markov cachés »**

**François Le Gland (INRIA / IRISA, Rennes)**

On présentera rapidement les méthodes de Monte Carlo avec interaction, ou méthodes particulières, qui permettent d'approcher numériquement le filtre optimal à l'aide de la distribution empirique pondérée associée à un système de particules en interaction. On montrera comment obtenir, dans un modèle dépendant d'un paramètre inconnu qu'il s'agit d'estimer, une approximation particulière globale de la fonction de vraisemblance, mettant en œuvre un unique système de particules en interaction, correspondant à une valeur donnée du paramètre, et des poids dépendants d'une valeur arbitraire du paramètre. Sous des hypothèses de régularité sur le modèle, cette approximation est dérivable par rapport au paramètre, et la dérivée peut s'interpréter comme une approximation particulière du filtre dérivé. Cette information est ensuite exploitée pour calculer, de manière numérique approchée, l'estimateur du maximum de vraisemblance.

Cet exposé repose sur un travail en commun avec Natacha Caylus, Arnaud Guyader et Nadia Oudjane.

### **11h30 - 12h30 : « Algorithmes de filtres particuliers hybrides »**

**Christian Musso (ONERA, Châtillon)**

Nous présentons divers algorithmes combinant le filtrage particulier et le filtre de Kalman. Le plus connu est la méthode de Rao-Blackwellisation qui traite le cas où le modèle de dynamique et / ou le modèle de mesures sont linéaires conditionnellement à une partie du vecteur d'état à estimer. Nous présentons un nouveau filtre hybride qui généralise le précédent en utilisant localement des filtres de Kalman. L'utilisation de filtres de Kalman réduit les fluctuations Monte Carlo pouvant conduire à des divergences. Nous présentons aussi quelques outils, comme la Borne de Cramer Rao, qui permettent de prévoir le comportement et les performances d'un filtre particulier quelconque.

### **14h00-15h00 : « Les méthodes particulières en estimation non linéaire »**

**Pierre Del Moral (Université Paul Sabatier, Toulouse)**

Nous introduirons dans cet exposé une méthodologie particulière moderne pour l'estimation et optimisation globale non linéaire. Très brièvement, cette nouvelle classe d'algorithmes stochastiques est fondée sur l'exploration d'un espace d'états par une population d'individus. Ces derniers évoluent selon des dynamiques naturelles d'exploration locale. Ils interagissent de temps à autre, en échangeant les informations qualitatives des régions qu'ils ont visitées. Les individus dans les zones de recherches arides ont alors tendance à se déplacer vers des régions plus attractives.

Dans la seconde partie de cet exposé, nous soulignerons les fondements mathématiques de ces modèles d'exploration stochastique et adaptative. Nous proposerons notamment une interprétation naturelle en terme de processus de

naissance et mort. Cette approche met ainsi en évidence les notions essentielles de lignes ancestrales et d'arbres généalogiques d'exploration. Nous illustrerons ces résultats dans l'étude du filtrage et estimation trajectorielle non linéaire et non gaussienne, ainsi qu'en contrôle optimal, et plus particulièrement en régulation de processus non linéaires.

**15h30-16h30 : « Commande optimale stochastique : des arbres de scénarios aux méthodes particulières »  
Guy Cohen (CERMICS, Marne-la-vallée /INRIA, Rocquencourt) et Anes Dallagi (CERMICS, Marne-la-vallée)**

En optimisation stochastique, l'évaluation numérique de l'espérance mathématique de la fonction coût est un point de passage obligé et le principe de la méthode de Monte-Carlo est le plus souvent mis à contribution pour cette tâche (sous diverses formes, y compris dans sa version "gradient stochastique"). En commande optimale stochastique, une autre difficulté apparaît : c'est celle de la prise en compte de la structure d'information du problème (au minimum la contrainte de causalité). Dans l'approche classique de la programmation dynamique, cette contrainte est directement prise en compte mais on s'éloigne alors du point de vue Monte-Carlo et du point de vue des méthodes variationnelles. Les approches basées sur les arbres de scénarios sont une tentative de retour vers ces points de vue tout en essayant de tenir compte, d'une façon plus ou moins explicite, de structures d'information simples comme la causalité. On montrera qu'il est important de bien séparer, dans l'analyse de ces méthodes d'approximation, les deux aspects : évaluation d'une espérance d'une part, discrétisation de contraintes informationnelles d'autre part. On expliquera ensuite pourquoi un autre point de vue que celui des arbres de scénarios s'avère nécessaire et on mentionnera les premières idées mises en oeuvre dans cette direction qui peut se rattacher à la famille des méthodes particulières plutôt développées dans d'autres contextes comme celui du filtrage.