



Master 2 en Modélisation des systèmes complexes

Responsable : Pablo Jensen, DR CNRS

IXXI, pablo.jensen@ens-lyon.fr

October 17, 2008





- Idées de base
 - Fournir à tous les étudiants une culture interdisciplinaire sur la modélisation des systèmes complexes
 - Equilibre entre ancrage disciplinaire et ouverture
 - Le M2 constitue un parcours pour les étudiants venant des Masters des différentes disciplines
- Ancrage fort dans les disciplines :
 - les étudiants suivent des UE de niveau M2 de leur discipline
 - stage dans un laboratoire de leur discipline
 - Diplôme : Master de leur discipline
- Ouverture significative aux autres disciplines :
 - Deux cours d'introduction de 24h
 - Méthodologie de la modélisation (24h)
 - Cours interdisciplinaires sur des thématiques précises (2 x 16h)
 - Cours sur la modélisation de domaines spécifiques (2 x 16h)



Détail des cours : Tronc Commun



- Cours de M2 spécifiques
- Introduction à l'informatique théorique (M Morvan):
 - théorie du calcul et applications aux automates cellulaires
 - complexité informatique
- Modélisation mathématique des systèmes complexes (E Grenier + J Michel):
 - Equations aux dérivées partielles
 - Systèmes dynamiques
 - Processus stochastiques
- Introduction à la physique statistique (E Bertin + T Roscilde):
 - Rappels de physique statistique d'équilibre
 - transitions de phase
 - physique statistique hors équilibre
- Méthodologie de la modélisation :
 - Epistémologie de la modélisation (S Franceschelli ENS LSH)
 - Méthodologie de la simulation (G Beslon, INSA)
 - Analyse statistique des données (P Abry, ENS physique)





- Problèmes de satisfaction de contraintes
 - Responsable : Pascal Koiran (Info ENS)
 - Intervenants : Marc Mézard (Orsay), Laurent Simon (LRI, Paris)
- Approche interdisciplinaire des systèmes dynamiques
 - Responsable : Emmanuel Risler (maths, INSA)
 - Intervenants : Th. Dauxois (physique ENS)
- Méthodes de traitement des données (analyse du signal, data mining, stats)
 - Responsable : Pierre Borgnat (physique ENS)
 - Intervenants : P Flandrin (physique ENS), C Robardet (INSA Lyon)



Détail des cours de modélisation de domaines spécifiques

- Modélisation en biologie et médecine
 - Responsable : C Knibbe (INSA/Lyon1)
 - Intervenant : S. Génieys (maths, Lyon1)
- Modélisation de systèmes sociaux (linguistique, économie...)
 - Responsable : P Jensen (ENS)
 - Intervenant : M Gordon (IMAG), F Marchal (LET)
- Matière et auto-organisation
 - Responsable : JL Barrat (Lyon 1)
 - Intervenant : Wais Hosseini (chimie, Strasbourg)
- Modélisation des grands réseaux technologiques
 - Responsable : E Fleury (Info ENS)
 - Intervenants : A Barrat (Orsay), M Latapy (Jussieu)



- Journée IXXI : lundi 17 novembre 9h-17h à l'INSA (Rotonde Humanités)
- Séminaires : d'autres thématiques seront abordées sous forme de séminaires de 4h :
 - neurosciences (H Kennedy, INSERM)
 - Ecologie (P Auger, IRD) ...
- Organisation des cours :
 - Les cours démarrent le 1er octobre
 - Tronc commun : 1/10 – 02/12
 - Cours optionnels : 09/12 - 01/03
 - Stage : 01/03 – 30/06 ou 30/08
- Crédits ECTS :
 - Cours du tronc commun : 6
 - Cours optionnels : 3
 - Stage : 18



Résumé Option "Problèmes de satisfaction de contraintes"

Le formalisme des problèmes de satisfaction de contraintes (CSP en anglais) est flexible et général. Il peut s'appliquer à des problèmes variés qui apparaissent dans diverses disciplines, avec de nombreuses applications allant du routage au test des microprocesseurs, des verres de spin aux réseaux d'expression de gènes. Toutefois, la complexité algorithmique de leur résolution peut être élevée. Ce cours abordera ces problèmes de satisfaction de contraintes sous trois aspects.

- La complexité algorithmique : on verra quels CSP peuvent être résolus efficacement, et lesquels sont algorithmiquement difficiles.
- L'étude générale des modèles graphiques par des méthodes probabilistes issues de la physique statistique: notion de graphe factoriel, algorithmes de passage de message comme la propagation des convictions, transitions de phases. On développera pour ce faire un langage commun illustré par des applications à la satisfaisabilité de formules aléatoires et à certains problèmes de théorie de l'information.
- Aspects logiciels: on verra quelles heuristiques permettent de résoudre en pratique des problèmes de taille significative.

Résumé Option "Systèmes dynamiques"



Notions abordées:

- Généricité, robustesse, bifurcation, codimension. Bifurcations génériques en petite dimension, déploiement, développement faiblement non linéaire, exemples.
- Systèmes dynamiques à deux échelles de temps, système de Fitz Hugh-Nagumo, application à la modélisation de l'influx nerveux et des ondes cardiaques.
- Systèmes dynamiques chaotiques: fer à cheval, transition vers le chaos par cascade de doublement de période, attracteur de Lorentz, application au mélange de fluides par advection chaotique.
- Introduction à la dynamique de systèmes à grand nombre de degrés de liberté
- Le cours mettra l'accent sur la découverte des phénomènes à travers un certain nombre d'exemples issus des sciences de la Nature (Physique, Chimie, Mécanique, Biologie, Ecologie...) et à travers des simulations et expériences numériques.



Résumé Option "Méthodes de traitement des données"

Le sujet de ce cours est de présenter pour des signaux dynamiques des méthodes modernes d'analyse de données venues des domaines de statistiques, de traitement du signal et d'informatique. Les données mises en jeu dans l'exploration des systèmes complexes sont souvent massives, dynamiques et leur variabilité naturelle nécessite un traitement statistique de ces propriétés. Trois axes seront abordés:

- théorie de l'information pour les signaux aléatoires, entropie statistique (Shannon, Rényi), principe du maximum d'entropie, mesure de complexité [Pierre Borgnat]
- exploration de données (data mining): méthodes de classification (K-means, DBScan, subspace clustering), apprentissage (arbres de décision, SVM) [Céline Robardet].
- dynamique temporelle : méthodes temps-fréquence et temps-échelle (transformées en ondelettes) pour les signaux aléatoires et déterministes [Patrick Flandrin]

Le cours sera illustré par divers exemples faisant appel à ces méthodes.

Résumé Option "Modélisation en biologie/médecine"

Ce cours donne un aperçu de la grande diversité des questions et des échelles sur lesquelles les chercheurs travaillent à l'heure actuelle, tout en sensibilisant les étudiants aux défis particuliers que posent les systèmes vivants au modélisateur :

- quelle est la relation entre la complexité et la robustesse du réseau métabolique d'une bactérie ?
- peut-on construire un modèle du coeur allant des échanges d'ions au niveau cellulaire jusqu'à la géométrie 3D de l'organe, pour prédire l'effet d'un médicament ?
- quelle est la meilleure stratégie de santé publique vis-à-vis des souches HIV qui résistent au traitement antirétroviral ?
- la dynamique d'un écosystème est-elle chaotique ?
- peut-on modéliser la progression d'un cancer comme un processus d'évolution darwinienne ?

Le cours montrera comment les concepts et les outils de l'approche systémique permettent d'aborder tous ces phénomènes apparemment disparates et de rechercher les propriétés fondamentales qu'ils peuvent avoir en commun.

Résumé Option " Grands réseaux de terrain "

Ce cours abordera les différentes problématiques soulevées par ce domaine que l'on peut regrouper en quatre familles complémentaires :

- **Mesure et Métrologie** : Mener des mesures fiables, de qualité et à grande échelle est une problématique de recherche en soi, qu'il ne faut pas ignorer. savoir ce que l'on mesure, comment et pourquoi est l'un des points de départ crucial de l'analyse des grands graphes de terrain.
- **Analyse** : On abordera les outils et les formalisme pour décrire les grands graphes de terrain afin d'en extraire les principales propriétés.
- **Modélisation**. Une fois les principales propriétés d'un graphe identifiées, les capturer dans un modèle formel est crucial notamment pour les expliquer, obtenir des résultats formels, et mener des simulations.
- **Algorithmique**. La taille des graphes considérés interdit l'utilisation d'algorithmes quadratiques ou plus ; de nombreux problèmes pour lesquels des solutions habituellement satisfaisantes sont connues doivent donc être retravaillés. Par ailleurs, la présence de propriétés caractéristiques des graphes de terrain ouvre la voie au développement d'algorithmes efficaces dans ces cas.

Résumé Option "Organisation spatiale et temporelle dans les systèmes de matière condensée"

- Description de l'organisation spatiale: structures régulières, fractales, surfaces auto affines. Caractérisation par les fonctions de corrélation et les facteurs de structure.
- Mécanismes d'organisation: mécanismes hors équilibre (ex DLA) et à l'équilibre (ex micelles, polymères). Organisation par mécanismes d'évolution vers l'équilibre (ex: nucléation/croissance/murissement).
- Dynamiques organisées: ralentissement critique, criticalité auto-organisée, dynamique vitreuse (modèle des pièges)
- Autoassemblage et génération de complexité structurale: programmation moléculaire pour concevoir et réaliser des architectures complexes à partir d'éléments simples par des processus itératifs

Résumé Option "Modélisation des systèmes sociaux"

Ces dernières années, la modélisation des systèmes sociaux a connu une forte expansion : nombre de publications multiplié par dix en cinq ans.

- importance des applications possibles
- disponibilité de plus en plus grande de données numérisées (localisations, Internet, publications, téléphones portables, vélov...)
- puissance des ordinateurs et outils mathématiques pour analyser les grandes bases de données

Après un bref historique du domaine, ce cours présentera :

- Exemples de modèles simplifiés, société virtuelle plus facile à analyser :
 - Schelling et la ségrégation raciale
 - Modèles d'interaction sociale entre individus à *la Ising*
 - Modèles multi-agents : marchés immobiliers, trafic automobile, piétons
- Quelques exemples de systèmes étudiés ces dernières années : élections, taille des villes, trafic...
- Conclusions sur l'épistémologie des sciences sociales, la difficulté de leur modélisation (notion de capacité, Cartwright)



- Introduction aux méthodes d'agrégation de variables dans les systèmes dynamiques (EDO)
- Applications à des modèles proie-prédateur et de pêcheries.
- Modèles en temps discret (2h)
- Introduction aux méthodes d'agrégation de variables dans les systèmes dynamiques en temps discret
- Applications à des modèles hôte-parasitoïde et en écologie du paysage.

