

Systèmes complexes et auto-organisation

Modèles, systèmes et environnements

Cyrille Bertelle

<http://litis.univ-lehavre.fr/~bertelle>

LITIS - Laboratoire d'Informatique,
du Traitement de l'Information et des Systèmes

Workshop ELITE - GRR SER

Modélisation appliquée aux systèmes complexes
et au monde du vivant: modèles, supports et exemples

Université du Havre, France - 28 avril 2008



Outline

- 1 Qu'est-ce qu'un modèle ?
- 2 Modèles et systèmes complexes
- 3 Environnement des systèmes et support de la complexité
- 4 Environnement des systèmes et support de la complexité
- 5 Quelques exemples

Qu'est-ce qu'un modèle ?

Une définition

A^* est un modèle de A pour X si
 X peut utiliser A^* pour répondre à des questions qui
l'intéressent sur A .

(Marvin Minsky, 1965)

Caractéristiques d'un modèle

- Un objet ou un système cible
- Une question sur ce système
- Un utilisateur X qui a un objectif
- "Utiliser A^* " : abstraction et formalisme

Qu'est-ce qu'un modèle ?

Une autre définition

Dans le langage scientifique, le modèle est essentiellement un instrument heuristique qui vise, par le moyen de la fiction, à briser une interprétation inadéquate et à frayer la voie à une interprétation nouvelle plus adéquate.

(Paul Ricoeur, 1975)

3 types de modèles (selon Max Black & Paul Ricoeur)

- "Modèle à l'échelle". Le modèle miniaturise ou agrandit un objet. Agrandissement de la patte d'un insecte.
- "Modèle analogique". Analogie hydraulique par exemple.
- "Modèle théorique". Modèle biologique de l'activité d'un enzyme où les enzymes sont représentés par des formes géométriques stylisées (cercles, carrés).

Qu'est-ce qu'un modèle ?

Pourquoi modéliser ?

- Pour comprendre et expliquer
 - Test/élaboration d'hypothèses
 - Formalisation/vérification de théories
- Pour prédire et décider
 - Test de scénarios
 - Artefacts pour l'aide à la négociation

Pourquoi modéliser ?

Modéliser : une notion complexe et multiple

"Modéliser un problème" n'a pas le même sens, ni le même intérêt suivant les domaines scientifiques

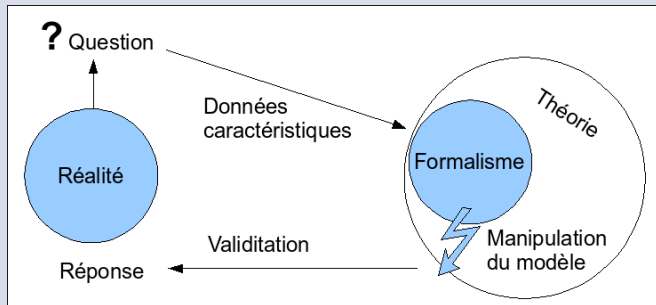
- En logique et en physique ? En biologie ou en sciences de l'ingénieur ? En climatologie ou en économie ?

(Pascal Nouvel, "Enquête sur le concept de modèle", PUF, 2002)

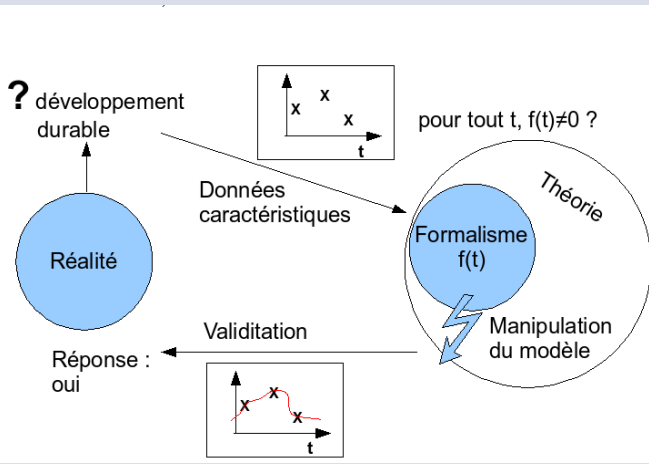
Prudence

- Avoir plusieurs buts, c'est prendre le risque d'en atteindre aucun (Ex : prédire vs. comprendre)
- Plus la question est vague, plus le processus de modélisation est fluctuant
- Danger de réutiliser un modèle conçu (ou même validé) dans un cadre pour l'utiliser dans un autre.

Cycle de modélisation



Cycle de modélisation



Qu'est-ce qu'un modèle ?

Formalisme

- Propositions et axiomes → Modèle logique
- Grandeurs et flux → Modèles à compartiments (analytiques)
- Lois d'évolution temporelles et spatiales → Modèles équationnels (analytiques)
- Individus, comportements et interactions → Modèles comportementaux, complexes, agents, distribués, ...

Modèles et systèmes complexes

Limites des approches analytiques

- Globalisante (avantage et inconvénient)
 - Le phénomène est décrit à son niveau global (diffusion, transport, ...)
 - Puis formaliser sous forme équationnelle
 - Puis résolu de manière analytique ou numérique pour obtenir des trajectoires de solution ou d'éléments constituant le système
 - La formalisation n'est accessible ou même compréhensible que par les "modélisateurs" et souvent étanche aux "thématiciens"
 - Avantage : permet une appréhension très synthétique du phénomène global

Modèles et systèmes complexes

Limites des approches analytiques

- Parfois la modélisation peut être vue comme très applicative car
 - Elle ne propose qu'un formalisme déjà bien identifié et réducteur
 - Elle n'amène pas de connaissance qualitative aux thématiciens ... sert à la validation d'observations ou de données.

Modèles et systèmes complexes

Caractéristiques et intérêt des modèles à base de systèmes complexes

- Le modèle se construit à partir des éléments de base constitutifs du système
- On décrit les individus/entités et leur comportement
- On décrit leur environnement
- On décrit leur interactions

Modèles et systèmes complexes

Exemple

Modélisation des chaînes trophiques et écosystèmes

- Approche analytique : équations de Lotka-Volterra proies-prédateurs qui globalisent le phénomène par des coefficients étanches ... mais permettent une compréhension de l'évolution globale
- Approche individus-centrés : individus + comportement + environnement + interaction. Permet l'intégration de connaissances fines mais la compréhension de l'évolution globale n'est pas toujours accessible.

Modèles et systèmes complexes

Avantages

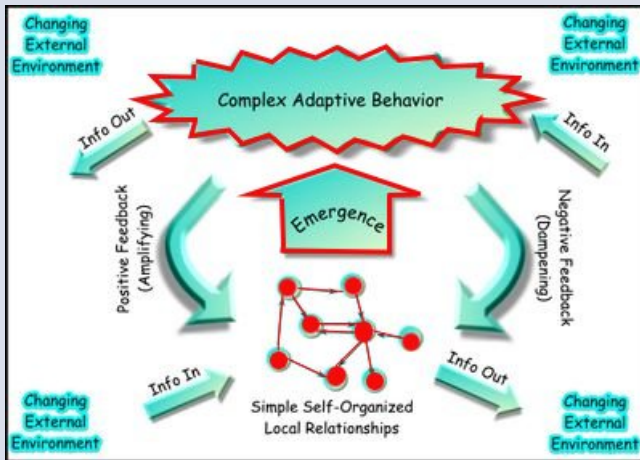
- La description des individus/entités est accessible et contrôlable par les thématiciens
- Des méthodologies existent pour le dialogue thématiciens/modélisateurs : ontologies

Inconvénients ou particularités

- On part des individus, de leur environnement et de leur système d'interaction.
- Le comportement global n'est pas décrit dans les individus et émerge du système d'interaction
- Phénomènes d'auto-organisation
- Feed-back du système émergent sur ses constituants

Systemes Complexes ?

Une vision synthétique



Systèmes Complexes ?

Complexe ou compliqué ?

- un système compliqué peut être réduit pour être compris.
- un système complexe perd son intelligibilité s'il n'est pas considéré dans son ensemble

(J.-L. Le Moigne, 1999)

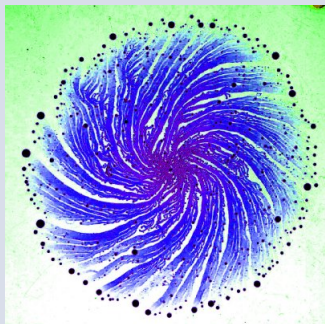
Des caractéristiques pour le modéliser

Caractéristiques

- Non linéarité
- Systèmes dynamiques ordre/chaos
- Auto-organisation
- Propriétés émergentes

Systemes naturels auto-organisés

Interactions et auto-organisation

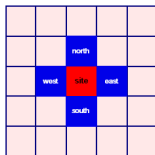


Environnement des systèmes et support de la complexité

- Environnement spatial cartésien : précis mais non structuré (pas de support de voisinage, ni de support d'interaction)
- Grille et automate cellulaire : support et interaction de voisinage. Modélise efficacement la diffusion



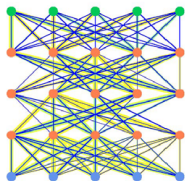
Euclidean
Space: 2D, 3D



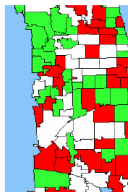
Grid: *von Neumann
neighborhood*

Environnement des systèmes et support de la complexité

- Graphe d'interactions : support des interactions voisines et distantes, mais pas de précision géographique.
- SIG : Bénéficie des bases de données géographiques et de leur environnement ... nécessite des extensions pour gérer la complexité.



Network



GIS: Geographic
Information
System

Quelques exemples

Dynamique urbaine (gentrification)

- Attraction des centres urbains par des phénomènes multi-critères (économiques, sociaux, environnementaux, culturels, ...). Comment modéliser la répartition/mobilité des individus dans un contexte urbain complexe ?
- Reformation des centres urbains et de leurs caractéristiques suite à la venue de nouveaux habitants (changement économiques, culturels ...). Feed-back du processus sur les individus.

Quelques exemples

Réseaux de distributions des nouvelles énergies (solaires, éoliennes, ...)

- Le système de distribution énergétique (français, par exemple) est très hiérarchisé et arborescent.
- Le développement des nouvelles énergies va faire apparaître une multitude de petits producteurs et la nécessité d'échanges point-à-point ... formation et identification de sous-systèmes organisés, capables de répondre de manière adaptative à des demandes.
- Complexité de la topologie de distribution sur un support de graphes dynamiques.