

Matis MIS1

Modélisation des systèmes complexes

Partie 1 - Systèmes complexes, contexte et concepts

Cyrille Bertelle

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

Master 2 Math-Info Matis





Introduction

La complexité des systèmes ?

Permet une description des mécanismes de nombreux systèmes naturels et artificiels

- Systèmes économiques, sociaux, humains
- Systèmes naturels environnementaux et vivants

Introduction

Dynamique urbaine



Introduction

Le Havre : au coeur de réseaux et flux économiques

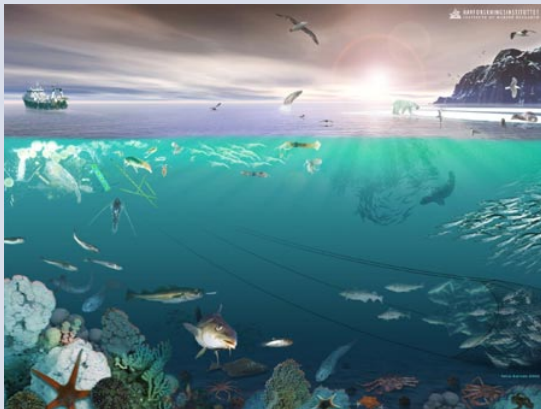


Le Havre : dynamique de populations



Introduction

Le Havre : au coeur d'un écosystème complexe





Introduction

Le Havre : complexité naturelle, sociale et économique

- Enjeux environnementaux
- Enjeux économiques
- Enjeux sociaux

⇒ Développement durable
⇒ Intelligence territoriale



Introduction

Le Havre : complexité naturelle, sociale et économique

- Enjeux environnementaux
- Enjeux économiques
- Enjeux sociaux

⇒ Développement durable
⇒ Intelligence territoriale



Introduction

Le Havre : complexité naturelle, sociale et économique

- Enjeux environnementaux
- Enjeux économiques
- Enjeux sociaux

⇒ Développement durable
⇒ Intelligence territoriale



Introduction

Le Havre : complexité naturelle, sociale et économique

- Enjeux environnementaux
- Enjeux économiques
- Enjeux sociaux

⇒ **Développement durable**

⇒ Intelligence territoriale



Introduction

Le Havre : complexité naturelle, sociale et économique

- Enjeux environnementaux
- Enjeux économiques
- Enjeux sociaux

⇒ **Développement durable**
⇒ **Intelligence territoriale**



Introduction

Le Havre : complexité naturelle, sociale et économique

- Au coeur de réseaux d'interactions complexes (naturels, urbains, économiques)
- Nécessitant de l'organisation
- Engendrant de l'auto-organisation



Introduction

Le Havre : complexité naturelle, sociale et économique

- Au coeur de réseaux d'interactions complexes (naturels, urbains, économiques)
- Nécessitant de l'organisation
- Engendrant de l'auto-organisation



Introduction

Le Havre : complexité naturelle, sociale et économique

- Au coeur de réseaux d'interactions complexes (naturels, urbains, économiques)
- Nécessitant de l'organisation
- Engendrant de l'auto-organisation



Complexité des systèmes naturels

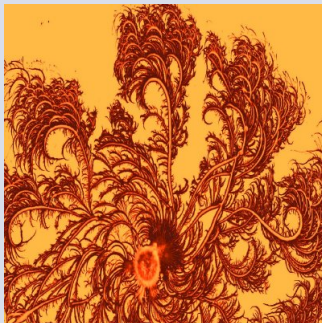
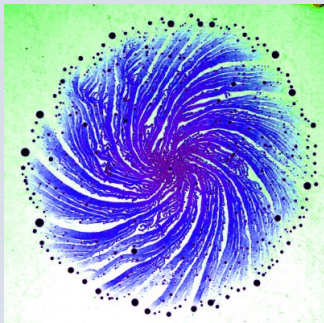
La physique, la biologie, les sciences humaines fournissent de nombreux exemples de systèmes où un comportement global non supervisé est le résultat d'interactions entre des entités homogènes ou hétérogènes





Colonies de bacteries

Interaction et auto-organisation suite à une excitation externe





Complexité & Auto-organisation

Quelques elements pour comprendre l'auto-organisation

- Les interactions sont essentielles pour la formation d'un système
- Généralement elles s'expriment au sein d'un réseau d'interactions en permanente évolution
- On observe des propriétés locales mais aussi des propriétés globales (différents niveaux/échelles d'observation et de description)



Complexité & Auto-organisation

Quelques elements pour comprendre l'auto-organisation

- Les interactions sont essentielles pour la formation d'un système
- Généralement elles s'expriment au sein d'un réseau d'interactions en permanente évolution
- On observe des propriétés locales mais aussi des propriétés globales (différents niveaux/échelles d'observation et de description)



Complexité & Auto-organisation

Quelques elements pour comprendre l'auto-organisation

- Les interactions sont essentielles pour la formation d'un système
- Généralement elles s'expriment au sein d'un réseau d'interactions en permanente évolution
- On observe des propriétés locales mais aussi des propriétés globales (différents niveaux/échelles d'observation et de description)



Nos objectifs

Concepts-Implémentation-Applications

On traitera des systèmes complexes en abordant les deux parties énoncées dans le titre :

- La constitution de modèles :
 - Systèmes complexes ?
 - Quels concepts derrière la complexité des systèmes ?
 - Comment passer des concepts aux modèles ?
- Les aspects calculatoires :
 - Quel paradigme pour représenter ces systèmes par des approches calculables ?
 - Comment construire et spécifier des entités informatiques appropriées ? ... dans des environnements distribués.
 - ...



Nos objectifs

Concepts-Implémentation-Applications

On traitera des systèmes complexes en abordant les deux parties énoncées dans le titre :

- Les aspects calculatoires :
 - ...
 - Quel outils et technologies utiles aux environnements décentralisés qui sont à la base des implémentations auxquelles nous allons nous intéresser ?
- Les Applications :
 - Intelligence territoriale
 - Modèles pour les milieux naturels, écosystèmes, ... (MIASC - M5)
 - Des modèles construit sur le paradigme du vivant (MIASC -M5)



Une première bibliographie de base

- A. Cardon *“La complexité organisée”*, Hermès, 2005.
- M.A. Aziz-Alaoui, C. Bertelle *Emergent Properties in Natural and Artificial Dynamical Systems*, Springer, 2006.
- ... Redine "la complexité"
- Joël de Rosnay *Le macrocosme*
- Jean-Louis Le Moigne *Modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 1999.
- J. Ferber *“Les systèmes multi-agents”*, InterEditions, 1995.
- G. Weiss *“Multiagent Systems”*, MIT Press, 1999.
- Frédéric Amblard et Denis Pham *Modélisation et simulation multi-agents*, Hermès, 2006.



Une première bibliographie de base

- Paul Bourguine et Annick Lesne *Morphogenèse, l'origine des formes*, Belin, 2006
- Gary William Flake *The computational Beauty of Nature*, the MIT Press, 1998.
- Weisbush ...
- F. Blasco "*Tendances nouvelles en modélisation de l'environnement*", Elsevier, 1997.
- Itzhak Benenson et Paul M. Torrens *Geosimulation*, Wiley, 2005.
- E. Bonabeau et G. Theraulaz "*Intelligence collective*", Hermès, 1994.
- E. Bonabeau, M. Dorigo et G. Theraulaz "*Swarm intelligence*", Oxford University Press, 1999.



Concept des systèmes complexes

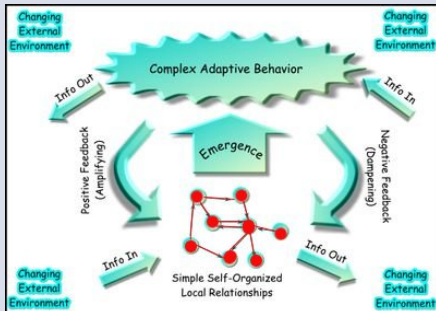
Systèmes complexes ?

- **Complexus** : liens, connexions, interactions, ...
- Distinguer (J.-L. Le Moigne)
 - **Système compliqué** : peut être décomposé pour être compris et étudié
Exemple : Moteur de voiture
 - **Système complexe** : perd son intelligibilité si il est décomposé
Exemple : Ecosystème, chaîne alimentaire

Concept des systèmes complexes

Des entités en interaction

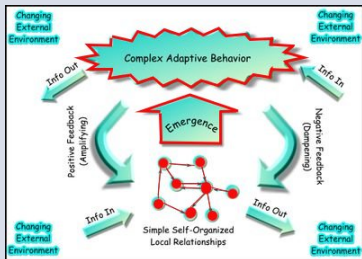
- Réseau d'entités en interaction :
- Localité des interactions ;
- Interdépendance des interactions.



Concept de systèmes complexes

Propriétés émergentes du système

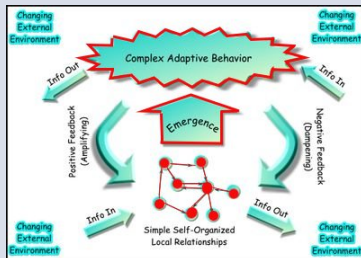
- Des propriétés globales du système émergent des interactions des entités ;
- Ces propriétés ne sont pas exprimées au niveau local des entités.
- "Le système est plus que la somme de ses parties"



Concept de systèmes complexes

Propriétés émergentes du système

- Des propriétés globales du système émergent des interactions des entités ;
- Ces propriétés ne sont pas exprimées au niveau local des entités.
- **"Le système est plus que la somme de ses parties"**

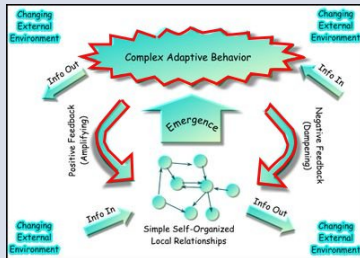


Concept de systèmes complexes

Rétro-action du système sur ses entités constitutives

Deux types de rétro-actions:

- **Positives** amplifiant la formation du système
- **Negatives** régulant le système
- Ces rétro-actions contraignent les entités du système
- "Le système est moins que la somme des parties"



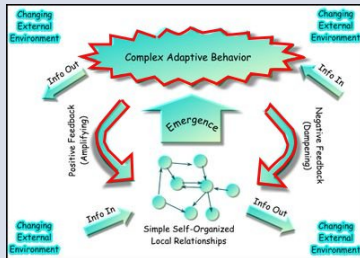


Concept de systèmes complexes

Rétro-action du système sur ses entités constitutives

Deux types de rétro-actions:

- **Positives** amplifiant la formation du système
- **Negatives** régulant le système
- Ces rétro-actions contraignent les entités du système
- "Le système est moins que la somme des parties"

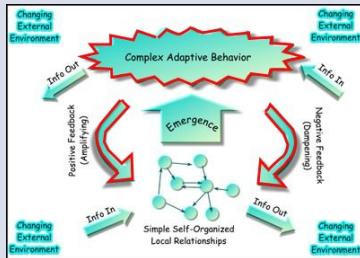


Concept de systèmes complexes

Rétro-action du système sur ses entités constitutives

Deux types de rétro-actions:

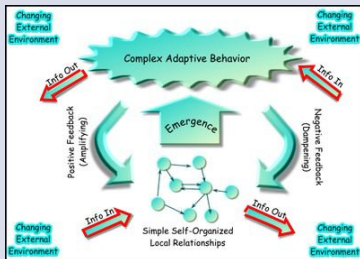
- **Positives** amplifiant la formation du système
- **Negatives** régulant le système
- Ces rétro-actions contraignent les entités du système
- "Le système est moins que la somme des parties"



Concept de systèmes complexes

Les systèmes complexes sont des systèmes ouverts

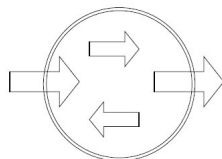
- Flux de matière, d'énergie ou d'informations
- Contribuent à la structuration du système : organisations dynamiques / fluctuations / bifurcations vers de nouvelles structures
- Par exemple : écosystèmes structurés par des flux énergétiques



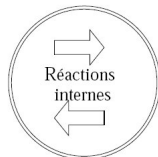
Concept de systèmes complexes

Les systèmes complexes sont des systèmes ouverts

- **Système ouvert** : interagit avec son environnement, transfère d'énergie et de matière, permet la formation d'organisations émergentes structurantes
- **Système fermé** : coupé du monde extérieur, sans émergence dynamique



Système ouvert



Système fermé



Complex Systems and Dissipative Structures

Dissipative Structure is a concept introduced and formulated par I. Prigogine

Ilya Prigogine Theory (1)

- Until the half of nineteenth-century, the living systems were a challenge to the scientific understanding, according to the general classical thermodynamic laws:
 - where the irreversibility of energy dissipation is always associated with energy losses and waste.
 - Physical phenomena continuously evolve from order to disorder, toward ever-increasing entropy.

Complex Systems and Dissipative Structures

Ilya Prigogine Theory (2)

- I. Prigogine gives extension to open systems theory from Ludwig von Bertalanffy:
- Dissipative structures are involved by continuous energetic fluxes crossing the system.
- They maintain themselves in a "stable" state far from equilibrium
- Far from equilibrium, the system include multiple feedback loops (non linear equations)
- Dissipative structure dynamically created under the fluxes are some islands of order in a sea of disorder.



Complex Systems and Dissipative Structures

Ilya Prigogine Theory

- Better understanding of living systems with extension of classical thermodynamic laws.
- Dissipative structures are involved by continuous energetic fluxes crossing the system.
- They maintain themselves in a "stable" state far from equilibrium, including multiple feedback loops (non linear equations)
- Dissipative structure are islands of order in a sea of disorder.



Brain is a dissipative structure

Learning is a self-organization process of the brain crossed by informational or emotional fluxes

