

Master I 2021/2022

Ingénierie des Logiciels Complexes (ILC)

*Introduction aux
Systèmes Complexes
suite*

Par : F. Saheb

Email: sahebt2002@yahoo.fr

Plan

1. Introduction aux systèmes complexes :
 - Définition de la notion de système complexe.
 - caractéristiques des systèmes complexes
2. Principes de modélisation.
3. Principaux mécanismes de simulation.
4. Principes de validation et de vérification du processus de modélisation et de simulation des systèmes complexes.
5. Systèmes Multi agents
6. Conclusion.

Émergence

- Ainsi, l'organisation hiérarchique fonctionnelle et structurelle d'un système complexe et les interactions entre les éléments microscopiques qui le composent peuvent provoquer une émergence de nouvelles propriétés en provenance de différents niveaux inférieurs jusqu'aux niveaux d'organisation supérieurs conférant au système complexe la propriété de totalité.

- Joël de Rosnay présente les phénomènes liés à l'émergence de la complexité organisée, comme ceux que l'on peut observer dans des systèmes moléculaires (e.g. origine de la vie), les sociétés d'insectes (e.g. fourmilières, ruches), les systèmes sociétaux (e.g. entreprises, marchés, économies) ou les écosystèmes.
- Il précise que le fonctionnement global d'un système complexe conduit à l'émergence de structures, de fonctions et de propriétés nouvelles imprédictibles.

Perspectives d'Émergence

Le problème de l'émergence est présenté selon trois perspectives majeures:

- Il s'agit de l'émergence thermodynamique,
- l'émergence relative à un modèle
- et l'émergence informationnelle.

Émergence thermodynamique

- La conception thermodynamique de l'émergence (basée sur la physique) considère l'émergence comme la formation de nouvelles structures physiques.
- Ce phénomène est décrit en termes d'équations différentielles et s'applique aux univers continus.

Émergence relative à un modèle

L'émergence relative à un modèle (initiée en biologie) :

- l'émergence est identifiée par la dérivation du comportement du système par rapport au modèle (i.e. la représentation conceptuelle du système) construit par l'observateur.
- L'émergence est un processus qui ne peut être décrit par un modèle fixe. Cette approche implique alors que l'émergence doit être décrite par un méta-modèle (i.e. modèle du modèle) représentant les transitions d'un modèle à un autre.
- La dynamique du système est ainsi en partie définie par une variation dans la structure ou la fonction qui se traduit par un changement du modèle.

Émergence informationnelle

- La conception de l'émergence informationnelle repose sur l'idée que le comportement global d'un système provient des interactions locales entre les éléments microscopiques.
- Dans ce contexte *Langton* définit l'émergence en termes de rétroactions entre les niveaux d'organisation d'un système dynamique : la micro-dynamique locale cause une macro-dynamique globale et en retour une macro-dynamique globale contraint une micro-dynamique locale.
- Cette approche, reposant sur des bases mathématiques, s'applique aux univers discrets. Les comportements émergent au travers de l'utilisation de techniques comme les automates cellulaires ou la simulation informatique.

Evolution de systèmes

- L'évolution de nombreux systèmes ayant une composante temporelle (i.e. systèmes dynamiques) repose sur le principe de causalité.
- Ce principe fut en particulier expliqué par le **savant français Pierre-Simon** de Laplace qui recourait à une métaphore par la suite appelée le démon de Laplace.
- Il affirmait que l'état présent de l'Univers est un effet de son état précédent et la cause de son état suivant.

- Cela suppose qu'il existe une séquentialité des états, c'est-à-dire qu'un événement (au sens de l'initiateur d'un changement d'état) futur ne peut influencer un événement passé.
- L'évolution d'un système complexe, guidé par sa dynamique propre, implique l'occurrence et la prise d'états successifs potentiellement différents.
- Les événements intervenant dans le système, l'émergence, et la rétroaction entraînent le changement de l'état du système.

Déterminisme

- Un système dynamique peut être qualifié de déterministe s'il existe une et une seule conséquence ou état à chaque état.

Non-déterminisme

- Il est qualifié de stochastique ou aléatoire(non-déterministe) s'il existe une ou plusieurs conséquences ou phases possibles à partir d'une distribution de probabilités des états possibles.

Caractéristiques de systèmes Non-déterministes

- Un système caractérisé par une nature aléatoire est plus difficile à étudier car son comportement est non reproductible (indéterministe) et imprédictible.
- La notion de complexité impliquant une certaine forme d'imprévisibilité qui ne peut être tenue pour déterministe.
- les systèmes complexes représentent alors des environnements souvent non-réversibles et aléatoires.

Auto-organisation

- L'auto-organisation est définie par la capacité pour un système de faire évoluer son état à la limite entre l'ordre et le désordre par des facteurs extérieurs et l'action combinée de croissance et de régulation.

Auto-organisation(suite)

Dans ce contexte, les perturbations ou les données issues de l'environnement sont utilisées par le système pour:

- préserver son organisation et
- accroître ses capacités organisationnelles.

Il y a non seulement croissance mais également complexification du fait de l'obligation de gérer les incertitudes croissantes issues de l'élargissement des environnements dans lesquels il se déploie.

Typologie des systèmes

- Plusieurs typologies des systèmes ont été proposées.
- Celles-ci procèdent souvent de façon ascendante partant du type le plus simple caractérisé par une certaine passivité (dans le sens de simple réactivité) pour aller vers des types plus sophistiqués intégrant des structures et des fonctionnalités de plus en plus riches telles que :
 - la régulation,
 - la mémorisation ou encore
 - la faculté d'accroître ses capacités organisationnelles (auto-organisation).

Classification de le Moigne

- Le Moigne présente dans une classification en trois points :
 - (1) les systèmes-machines qui relèvent de la mécanique et de l'ingénierie,
 - (2) les systèmes vivants et les systèmes artificiels complexes dans lesquels apparaissent les processus de mémorisation et de décisions et
 - (3) les systèmes humains et sociaux dans lesquels apparaissent l'intelligence et l'auto-organisation.

- Dans le cadre de recherches fondamentales sur le chaos déterministe a émergé, dans la seconde moitié du siècle précédent, une autre classe dans laquelle les systèmes sont dits dynamiques. Ces systèmes sont caractérisés par le fait que derrière une apparence chaotique (désordre déterministe) existe un ordre plus complexe que l'ordre apparent dans lequel apparaîtrait un certain indéterminisme et où cet ordre émergerait par auto-organisation.

La typologie des systèmes de Lesourne

Elle distingue quatre catégories :

■ 1. Les systèmes à états.

Ils sont définis avec les seules notions:

- d'entrée,
- de sortie et
- de transformations entre les entrées et les sorties.

Cette classe comprend la plupart des machines construites par l'homme. Ce sont en général des machines commandées de l'extérieur par un mécanisme régulateur ou une intervention humaine : robot télécommandé ou un moteur de voiture par exemple ;

■ 2. Les systèmes avec contrôles intégrés:

De tels systèmes intègrent la notion de régulation interne et la capacité d'atteindre des objectifs grâce à un ou plusieurs contrôles de régulation.

Exemple: Un missile à tête chercheuse constitue par exemple un système de cette catégorie ;

- **3. Les systèmes à apprentissage, disposent :**
 - d'une mémoire qui enregistre les informations passées (résultats, observations, décisions),
 - de mécanismes de calculs et
 - de contrôle qui incluent la faculté de prendre des décisions en fonction de l'expérience acquise.
- Un tel système peut également apprendre de façon systématique par un processus de type essais-erreurs (notion d'adaptation).
- De tels systèmes peuvent organiser leur propre apprentissage et atteignent le stade de l'auto-organisation.
- A un niveau encore supérieur, le système peut se fixer lui-même ses propres objectifs.

Exemple: Un système expert en stratégie économique entre dans cette classe ;

■ 4. Les systèmes à décideurs multiples:

- possèdent une structure complexe constituée d'un certain nombre de systèmes à buts ou à apprentissage.
- sont doués d'une auto-organisation spontanée qui conduit à des distributions hiérarchiques :
 - simples pour les organisations (e.g. armée ou entreprise) ou,
 - complexes (hiérarchies enchevêtrées) dans le cas des sociétés où un individu peut appartenir à plusieurs hiérarchies distinctes.

Modélisation des systèmes complexes

...À suivre