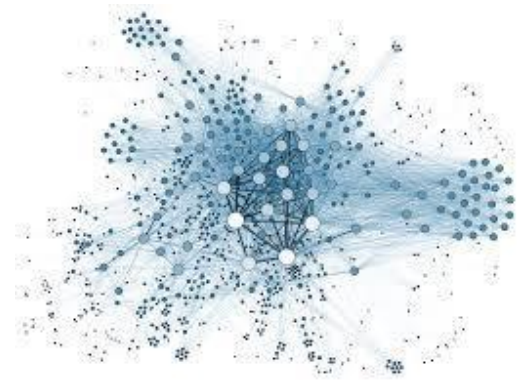


# Chapitre 1 : Etat de l'art sur les systèmes complexes



Abdelhak Merizig

# Table des matières



|   |    |
|---|----|
| <b>Objectifs</b>  | 3  |
| <b>Introduction</b>   | 4  |
| <b>I - Que ce qu'un système complexe ?</b>                  | 5  |
| <b>II - Les éléments de base d'un système complexe</b>      | 7  |
| 1. Degré de complexité .....                                | 7  |
| 2. Exercice : Propriété des systèmes complexes .....        | 8  |
| 3. Caractéristiques d'un système complexe .....             | 8  |
| 4. Types de systèmes .....                                  | 8  |
| 5. Exercice : Type de système complexe .....                | 9  |
| 6. Conception des systèmes complexes .....                  | 9  |
| <b>III - Les étapes d'élaboration d'un système complexe</b> | 12 |
| <b>IV - Conclusion</b>                                      | 14 |
| <b>Références</b>   | 15 |

# Objectifs

*Objectifs* : à la fin de ce cours l'étudiant sera capable de :

- Expliquer les notions de base du système complexe.
- Illustrer la relation de causalité entre les éléments du système.
- Identifier les différentes étapes pour élaborer un système complexe.
- Distinguer entre les systèmes classiques et complexes.

*Pré requis* : l'étudiant doit avoir :

- Des notions de base sur le développement d'un logiciel.
- Des notions sur les systèmes dynamiques.

# Introduction



Les applications sont conçues pour aider les utilisateurs à travers des logiciels ou matériels préprogrammé. La distribution des tâches dans les entreprises sur différents sites ouvrent un défi aux propriétaires, à cause des problèmes liés au calcul ou partage d'information entre eux. En effet, l'ensemble d'entités qui définissent ces systèmes sont représentés sous forme matérielles et/ou immatérielles. De plus, ces systèmes sont connus par un degré de complexité car le nombre d'entités interconnectés et hétérogènes est très important, ces systèmes sont classés comme des systèmes complexes. Les systèmes complexes sont apparus pour un but de couvrir quelques limites dans les autres types du système parmi ces motivations nous citons :

- Comprendre la relation de causalité entre les parties et le système entier (raisons et causes/effets et conséquences).
- Déterminer le processus d'émergence du système complexe à travers l'évolution de leurs parties.
- Comprendre comment les instructions des parties du système offrent un comportement global auto-organisationnel qui diffère de la somme des comportements élémentaires de ces parties.

# Que ce qu'un système complexe ?



## Définition

Dans la littérature il existe plusieurs définitions sur les systèmes complexes. Dans cette section, nous allons présenter quelques définitions sur l'état de l'art sur les systèmes complexes.

Un système est un ensemble qui se constitué par une unité cohérente et autonome d'objets réels ou conceptuels. On peut dire qu'un système est un organisme conçu pour atteindre un objectif ou ensemble d'objectifs avec moyen d'interactions mutuelles et dynamiques.

- D'après la définition du (Aziz-Alaoui et Bertelle, 2009) un système complexe :  
Les systèmes complexes sont des systèmes qui comportent plusieurs parties en interactions avec une capacité de générer des nouvelles qualités de comportement collectif macroscopique, dont les phénomènes sont la formation spontanée de structures différentes que ce soit temporelles, spatiales ou fonctionnelles

*p.15 ↗*

- Une autre définition de la part du (Aziz-Alaoui, 2018) un système complexe est défini comme un système caractérisé par des propriétés bien déterminé et se basant sur des concepts qui couvre les différents sciences.

*p.15 ↗*

- D'après (Bar-Yam, 2002) un système complexe est la nouvelle approche qui décrire les relations entre les entités dont le but d'offrir des comportements collectifs aux systèmes

*p.15 ↗* . De plus il permet de déterminer la manière d'interaction par la construction des relations avec son environnement.

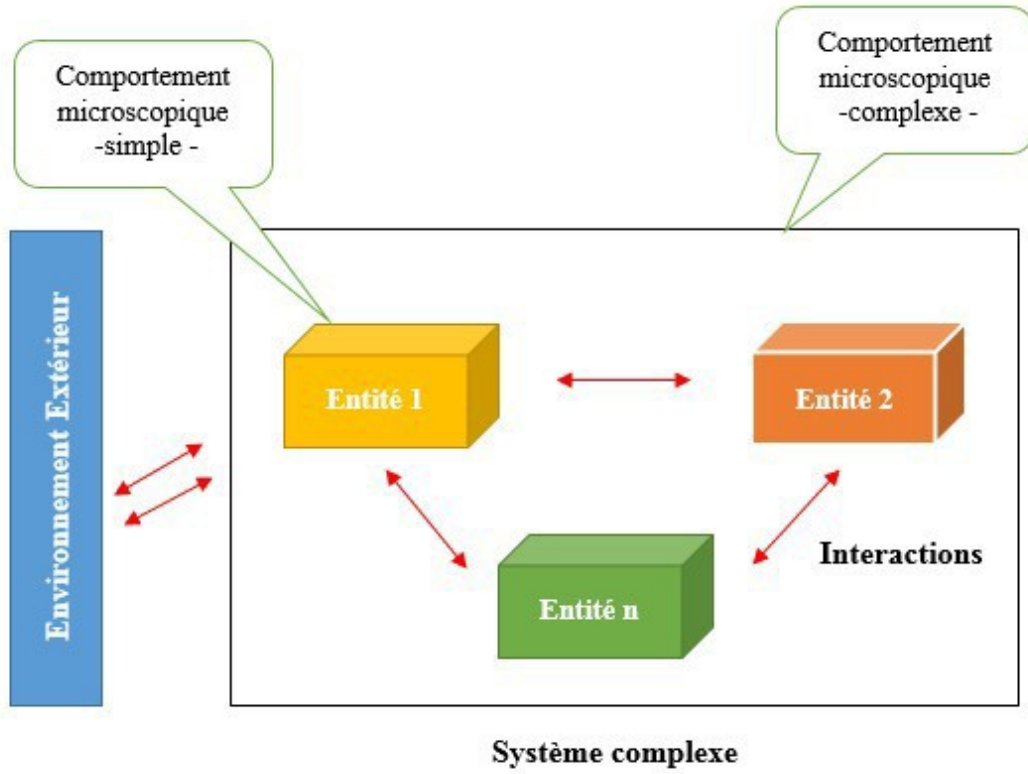


Figure 1. Vue générale du système complexe.

# Les éléments de base d'un système complexe



|   |   |
|---|---|
| Degré de complexité                         | 7 |
| Exercice : Propriété des systèmes complexes | 8 |
| Caractéristiques d'un système complexe      | 8 |
| Types de systèmes                           | 8 |
| Exercice : Type de système complexe         | 9 |
| Conception des systèmes complexes           | 9 |

## 1. Degré de complexité

Un système est complexe doit vérifier certaines propriétés selon un des critères suivants<sup>p.15</sup> :

- Les cardinalités : Un système est qualifié de complexe s'il contient plusieurs entités composantes.
- La complexité informationnelle : la complexité est mesurée par le nombre de paramètres ou par le nombre de symboles nécessaires pour caractériser les systèmes.
- La complexité selon le critère computationnel : un système est qualifié de complexe selon le critère computation est un système évalué par le nombre maximum ou attendu des étapes de calculs élémentaires nécessaires pour résoudre un problème donné.
- L'interdépendance : un système complexe est tout système dans lequel il existe plusieurs interdépendances entre les entités composantes.
- La continuité de l'information (sens de Shannon-Wiener) : un système est considéré comme complexe s'il possède plusieurs entités qui sont différentes de point de vue comportement. Donc, ceux qui possèdent des entités similaires sont moins complexes.
- L'indécidabilité : un système est considéré comme complexe si son comportement est considéré comme indécidable (indéterminable) en revanche, les systèmes qui possèdent un comportement déterminable sont considérés moins complexes.

## 2. Exercice : Propriété des systèmes complexes

Quel propriété dite un système est qualifié de complexe s'il contient plusieurs entités composantes.

## 3. Caractéristiques d'un système complexe

Les systèmes complexes donnent des vues fonctionnelles et comportementale d'un nouveau phénomène que nous voulons étudier. En effet, les systèmes complexes se ressemblent en ceux déjà existés, néanmoins ils se diffèrent aux autres par quelques caractéristiques, parmi ces caractéristiques nous citons :

- **É m e r g e n c e** :  
cette caractéristique décrit l'apparition d'un ordre non planifié. Ainsi elle se produit dans les systèmes qui peuvent être décrits en deux niveaux macroscopique, à partir des interactions entre la parties, et microscopique, à partir des comportements élémentaires  
*p.15 ↗*
- **A u t o - o r g a n i s a t i o n** :  
un mécanisme ou processus qui permet aux systèmes de changer l'organisation sans intervention explicite durant son déroulement. De plus, les interactions entre ses entités ou avec l'extérieur du système sont faites de façon autonome (sans intervention centrale et extérieur)  
*p.15 ↗*
- **Non linéarité** : les systèmes ont des comportements non linéaire qui permet de répondre de façon totalement différents pour les même valeurs d'entrées du système en fonction de leur état ou contexte.
- **A d a p t a b i l i t é** :  
c'est la capacité de changer ou modifier et d'apprendre depuis son expérience d'après la génération des nouvelles situations pendant le déroulement du système pour les différents scénarios (enrichir les connaissances dans le cas des systèmes experts)  
*p.15 ↗*
- **S t a b i l i t é / I n s t a b i l i t é** :  
c'est le passage par une période de stress (instabilité) et de perturbation où le système se simplifie et se restructure partiellement ou totalement (stabilité)  
*p.15 ↗*

## 4. Types de systèmes

Les systèmes complexes sont conçus pour un but d'étudier et analyser les nouvelles situations qui couvrent tous les types de phénomènes. Les systèmes complexes donnent des solutions aux problèmes reliés à la nature tels que les maladies, production de protéines, etc... ou des systèmes



artificiels. Les types de systèmes complexes sont cités comme suit<sup>p.15 ↗</sup> :

1. Les systèmes complexes naturels : ils existent plusieurs systèmes complexes dédiés aux problèmes naturels parmi ces derniers nous citons :
  - Écologie : organisation des espèces, études des séismes et des volcans, études des rivières etc.
  - Biologie : Anatomie humaine, système nerveux et hormonal chez l'homme etc.
  - Physique et chimie : mouvement, mécanique quantique, chimie générale, chimie organique etc.
  - Économie : Transaction dans le marché, monnaie, Banques, production/consommation etc.
  - Transport : Trafic routier, Embouteillage, déplacement des véhicules etc.
2. Les systèmes complexes artificiels : plusieurs projets sont adoptés pour un but d'analyser un système complexe telle que :
  - Projet Simdelta : un système multi-agents conçu pour simuler la pêche sur le Delta central de Niger (LIP6, 1994).
  - Projet Manta : une plateforme qui simule des organisations sociales des fourmis (LIP6, 1993).
  - Projet Rivage : un modèle qui décrit les processus physiques ruissellement et d'infiltration d'eau qui peuvent conduire éventuellement à la formation de mares, de ravins ou chemins d'eau (LIP6, 2000).

## 5. Exercice : Type de système complexe

Combien de types de systèmes complexes ?

- 2
- 3

## 6. Conception des systèmes complexes

Les systèmes complexes aident les chercheurs de comprendre et analyser des phénomènes de différents domaines, ainsi qu'ils ont réduit les coûts par des simulations. Afin de construire un système il faut passer par un enchaînement d'étapes bien définies, dans cette section nous exprimons ces étapes qui sont schématisées dans la figure<sup>p.15 ↗</sup> suivante :

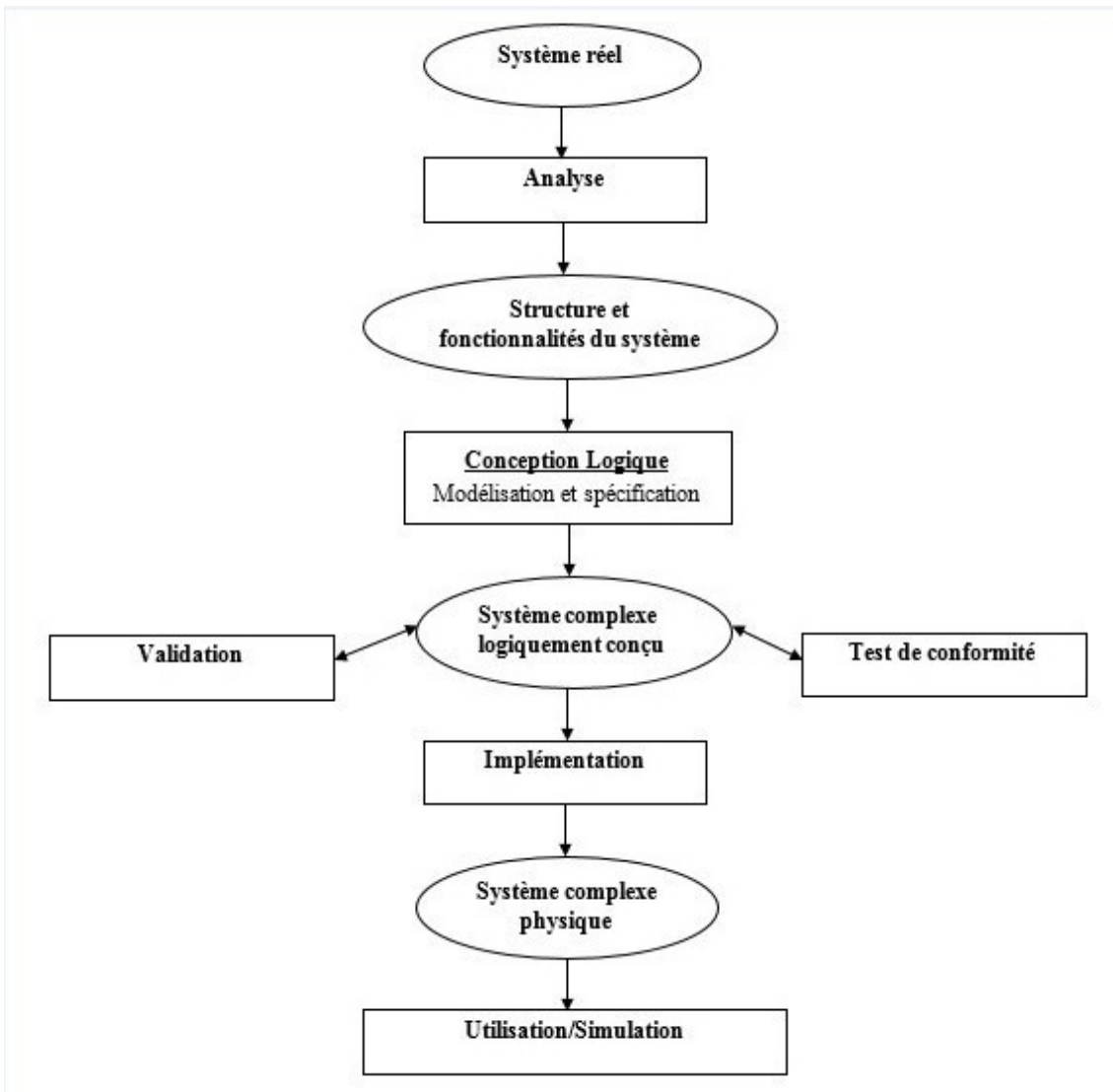


Figure 2. La conception d'un système complexe.

1. *Phase d'analyse* : limiter ce qui est connu, ce qui est à connaître et les paramètres intermédiaires qui conduisent ce qui est connu vers ce qui est à *connaître* : (Présentation des structures des entités composantes du système complexe, leurs compétences et leurs interactions).
2. *Phase de conception logique* : décrire le système sous forme de modèles et d'algorithmes afin de synthétiser le système. On modélise le niveau microscopique (entités, fonctions, interactions etc.) pour prévoir l'émergence du comportement global du système (niveau macroscopique).
  - *Modélisation* : essayer de trouver un modèle formel (mathématique par exemple), en utilisant des outils de modélisation : équations, réseaux de pétri, chaînes de Markov etc. afin de formaliser les entités et leurs interactions.
  - *Spécification* : rendre la résolution apte à être implémentée par des outils informatiques (logiciels par exemple), nous devons passer à une spécification formelle de résolution.
3. *Validation* : vérifier la syntaxe et la sémantique du système conçu. Elle assure la correction du modèle trouvé depuis la spécification du problème en question.

4. *Test de conformité* : tester si le système conçu répond aux critères initiaux de la conception. En d'autres termes, on doit s'assurer que les propriétés du système n'étaient pas modifiées lors des phases précédentes et que le système résultant est conforme aux exigences initiales et se fonctionne dans les mêmes objectifs de début.
5. *Implémentation* : transformer le système conçu sous un format prêt à être opérationnel et exécutable sur ordinateur.
6. *Utilisation / exécuter la simulation* : mettre le système réalisé en exploitation : en marche directe (si possible) ou exécuter la simulation pour de différentes raisons (difficultés de la mise en marche, dangers, coût d'expérimentation très élevé, etc.).

# Les étapes d'élaboration d'un système complexe



Exercice : Le but des systèmes complexes

---

Pourquoi on simule les phénomènes réels ?

- Pour des raisons de sécurité.
- Pour des raisons de financement.
- Pour des besoins éducatifs.

Exercice : Mis les concepts suivants dans le bon ordre.

---

Test de conformité

Validation

Utilisation/exécuter la simulation

Phase de conception logique

Phase d'analyse

Implémentation

Exercice : Donner le type de système :

---

|                                  |                  |                        |
|----------------------------------|------------------|------------------------|
| Gestion des emplois du temps     | Embouteillage    | Production de protéine |
| Simulation d'un système d'alarme | Gestion de stock |                        |

| Les systèmes classiques | Les systèmes complexes |
|-------------------------|------------------------|
|                         |                        |



# Conclusion



Les systèmes complexes sont conçus pour aider les gens de comprendre les différents phénomènes réels naturels ou artificiels. On peut dire qu'un système complexe c'est la projection d'un problème ou situation réels et le résoudre sur un ordinateur. De plus, les systèmes complexes permet nous à étudier et analyser le problème posé par des équations ou des approches informatique afin de prendre des précautions dans le future de façon fiable et sécurisé.

# Références

*Aziz-Alaoui, 2018*

Aziz-Alaoui, Modélisation et Analyse des Systèmes Complexes, support de cours Master 2 Mathématiques & Applications, Université du Havre, 2018.

*Aziz-Alaoui et Bertelle, 2009*

Aziz-Alaoui, M., & Bertelle, C. (Eds.). (2009). From system complexity to emergent properties. Springer Science & Business Media. Knowledge Management, Organizational Intelligence and Learning, and Complexity- Vol. I.

*Bar-Yam, 2002*

Bar-Yam, Y. (2002). General features of complex systems. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), UNESCO, EOLSS Publishers, Oxford, UK, 1.

*Bitam ,2012*

S. Bitam, "support de cours : systèmes complexes", Université de Biskra, Matser 1. 2012

*Gignoux et al., 2017*

Gignoux, J., Chérel, G., Davies, I. D., Flint, S. R., & Lateltin, E. (2017). Emergence and complex systems: The contribution of dynamic graph theory. *Ecological Complexity*, 31, 34-49.

*Miller et Scott, 2007*

Miller, John H., and Scott E. Page (2007-01-01). Complex adaptive systems: an introduction to computational models of social life. Princeton University Press. ISBN 9781400835522. OCLC 760073369.

*Serugendo et al .,2005*

G. D. M. Serugendo, M.-P. Gleizes, and A. Karageorgos, "Selforganization in multi-agent systems," *Knowl. Eng. Rev.*, vol. 20, no. 2, pp. 165–189, 2005

*Ye et al., 2017*

Ye, D., Zhang, M., & Vasilakos, A. V. (2017). A Survey of Self-Organization Mechanisms in Multiagent Systems. *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 47(3),

