

# La complexité Expliquée

## La complexité Expliquée

“Il n’y a aucun amour dans un atome de carbone, aucun ouragan dans une molécule d’eau, aucune crise financière dans un billet de banque.” (Peter Dodds)

Les sciences de la complexité, que l’on désigne aussi par sciences des systèmes complexes, s’intéressent à la manière dont un large ensemble de composants - qui interagissent localement entre eux aux échelles microscopiques - peuvent spontanément s’auto-organiser pour induire des structures globales et des comportements non triviaux aux échelles macroscopiques, souvent sans intervention extérieure, autorités centrales ou dirigeants.

**C (JR) :** “sciences” au pluriel me semble plus utilisé en Français ?

**C (JR) :** pour les échelles “micro” et “macro” est peut-être trop technique ? mais cela me pose un problème “small” and “large” en tant que géographe (où c’est l’inverse)

Les propriétés de l’ensemble peuvent ne pas être comprises ou prédites à partir de la connaissance seule de ses constituants. Cet ensemble constitue alors un système complexe, dont l’étude implique de nouvelles approches mathématiques et de nouvelles méthodologies scientifiques.

Voici un certain nombre de notions essentielles autour des systèmes complexes.

## 1 Interactions

### Exemples

### Concepts

### Bibliographies

Mitchell, Melanie. Complexity: A Guided Tour. Oxford University Press, 2009.

Capra, Fritjof and Luisi, Pier Luigi. The Systems View of Life: A Unifying Vision. Cambridge University Press, 2016.

## 2 Emergence

Les propriétés des systèmes complexes pris dans leur ensemble sont très différentes, et souvent inattendues, des propriétés de leur composants individuels.

“Il n’est pas nécessaire d’avoir quelque chose en plus pour obtenir quelque chose en plus. C’est ce que signifie le concept d’émergence.” (Murray Gell-Mann)

Dans des systèmes simples, les propriétés de l’ensemble peuvent être comprises ou prédites à partir de la superposition ou l’agrégation de ses composants.

En d'autres termes, les propriétés macroscopiques d'un système simple peuvent être déduites des propriétés macroscopiques de ses composants. Au contraire dans les systèmes complexes, les propriétés de l'ensemble ne peuvent souvent pas être comprises ou prédites à partir de la connaissance de ces composants, à cause d'un phénomène nommé "émergence". Ce phénomène implique différents mécanismes induisant que les interactions entre composants d'un système génèrent une information nouvelle et présentent des structure collectives ou comportements non-triviaux aux échelles supérieures.

Ce fait est souvent synthétisé par la phrase célèbre: "le tout est plus que la somme des parties".

## Exemples

- Une grande quantité de molécules d'eau et de vapeur formant une tornade
- De nombreuses cellules formant un organisme vivant
- Des milliards de neurones dans un cerveau produisant la conscience et l'intelligence

## Concepts

Émergence, échelles, non-linéarité, *bottom-up*, description, surprise, effets indirects, contre-intuitif, transition de phase, non-réductibilité, limite de la pensée traditionnelle linéaire/statistique, "le tout est plus que la somme des parties".

## Bibliographie

Bar-Yam, Yaneer. Dynamics of Complex Systems. Addison-Wesley, 1997.

Ball, Philip. Critical Mass: How One Thing Leads to Another. Macmillan, 2004.

## 3 Dynamiques

### Exemples

### Concepts

### Bibliographie

Strogatz, Steven H. Nonlinear Dynamics and Chaos. CRC Press, 1994.

Gleick, James. Chaos: Making a New Science. Open Road Media, 2011.

## 4 Auto-organisation

Les systèmes complexes peuvent s'auto-organiser pour produire spontanément des motifs non-triviaux, sans architecture globale.

"On peut suggérer qu'un système de substances chimiques, nommées morphogènes, réagissant entre elles et se diffusant dans un tissu, est approprié pour rendre compte du phénomène principal de la morphogenèse." (Alan Turing)

Les interactions entre les composants d'un système complexe peuvent produire un motif ou un comportement pour l'ensemble. Ce phénomène est souvent décrit comme une auto-organisation, car il n'est pas induit par un contrôle central ou extérieur.

Au contraire, le "contrôle" d'un système auto-organisé est distribué entre ses composants et intégré dans leurs interactions. L'auto-organisation peut produire des structures physiques/fonctionnelles comme les motifs cristallins des matériaux et les morphologies des organismes vivants, ou bien des comportement dynamiques/informationnels comme les comportement des bancs de poissons et les impulsions électriques se propageant dans les muscles des animaux.

Lorsque le système devient plus organisé par ce processus, de nouvelles interactions peuvent émerger dans le temps, et pouvant potentiellement conduire à la production d'une plus grande complexité.

Dans certains cas, les systèmes complexes peuvent s'auto-organiser en un état "critique" qui ne peut exister que dans un équilibre subtil entre aléatoire et régularité.

Les motifs qui émergent dans de tels états critiques auto-organisés présentent souvent des propriétés particulières, comme une auto-similarité et des distributions en loi puissance des propriétés du motif.

## Exemples

- Une unique cellule-oeuf de divisant et finalement s'auto-organisant en la forme complexe d'un organisme
- Les villes qui croissent lorsqu'elles attirent plus d'individus et de flux économiques
- Une grande population d'étourneaux décrivant des motifs complexes de mouvements collectifs

## Concepts

Auto-organisation, comportement collectif, essaims, motifs, espace et temps, ordre émergeant du désordre, criticalité, auto-similarité, explosion, criticalité auto-organisée, lois puissance, distributions à grande queue, morphogenèse, contrôle décentralisé/distribué, auto-organisation guidée.

## Bibliographie

Ball, Philip. The Self-Made Tapestry: Pattern Formation in Nature. Oxford University Press, 1999.  
Camazine, Scott, et al. Self-Organization in Biological Systems. Princeton University Press, 2003.

## 5 Adaptation

### Exemples

### Concepts

### Bibliographie

Holland, John Henry. Adaptation in Natural and Artificial Systems. MIT press, 1992.  
Solé, Ricard, and Elena, Santiago F. Viruses as Complex Adaptive Systems. Princeton University Press, 2018.

## 6 Interdisciplinarité

Les sciences de la complexité peuvent être appliquée pour comprendre et superviser une grande variété de systèmes dans de nombreux domaines.

“Il n’est peut-être pas totalement vain de cependant chercher des propriétés communes au sein de divers types de systèmes complexes. . . Les idées de retroaction et d’information fournissent un cadre de référence pour lire une grande variété de situations.” (Herbert Simon)

Les systèmes complexes se rencontrent dans tous les domaines scientifiques et professionnels, incluant la physique, la biologie, l’écologie, les sciences sociales, la finance, les affaires, la gestion, la politique, la psychologie, l’anthropologie, la médecine, l’ingénierie, les technologies de l’information, et d’autres. De nombreuses technologies parmi les plus récentes, des réseaux sociaux et technologies mobiles aux véhicules autonomes et à la blockchain, produisent des systèmes complexes avec des propriétés émergentes qu’il est crucial de comprendre et prédire pour le bien-être sociétal.

Un concept clé des sciences de la complexité est l’universalité, qui est l’idée que de nombreux systèmes dans différents domaines présentent des phénomènes avec des caractéristiques sous-jacentes communes qui peuvent être décrites en utilisant les mêmes modèles scientifiques. Ces concepts justifient un nouveau cadre mathématique/computationnel multidisciplinaire.

Les sciences de la complexité peuvent fournir une approche analytique complète et à cheval entre les disciplines, qui complémente les approches scientifiques traditionnelles qui se concentrent sur des objets d’étude spécifiques dans chaque domaine.

### Exemples

### Concepts

### Bibliographie

Thurner, Stefan, Hanel, Rudolf and Klimek, Peter. Introduction to the Theory of Complex Systems. Oxford University Press, 2018

Page, Scott E. The Model Thinker. Hachette UK, 2018.

## 7 Méthodes

### Exemples

### Concepts

### 7.1 Bibliographie

Pagels, Heinz R. The Dreams of Reason: The Computer and the Rise of the Sciences of Complexity. Bantam Books, 1989.

Sayama, Hiroki. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. Open SUNY Textbooks, 2015.