

LA SCIENCE DE LA COMPLEXITE

En 2008 est publié « Thinking in Systems » de Donella H. Meadows, la chercheuse du MIT autrice du retentissant « Limits to Growth ». Forte de son expérience d'analyste, Donella Meadows transpose au monde réel ses connaissances en matière de systèmes mathématiques et informatiques.

La science de la complexité ou science des systèmes complexes s'intéresse aux multiples relations existant dans un système entre les composants eux-mêmes mais aussi entre les composants et leur environnement. On résume généralement le fonctionnement des systèmes complexes comme permettant « un tout supérieur à la somme des entités »

Dans les systèmes simples, il suffit généralement de comprendre les propriétés individuelles des composants pour déduire ou prédire les propriétés du système. Dans ces situations, l'état du système, c'est-à-dire l'ensemble des variables qui le caractérisent, évolue en même temps que ses paramètres.

Un changement de référentiel

Avant de présenter un court aperçu des systèmes complexes, il est nécessaire de préciser ce que n'est pas, et ce que ne permet pas la science de la complexité. Cette précision est nécessaire puisque contrairement à ce que les scientifiques poursuivent généralement dans leur champ disciplinaire respectif, il n'est pas question ici de prédire et de contrôler le déroulement d'un processus.

La science de la complexité intègre l'**imprévisibilité** et accepte l'**absence de contrôle** du système. Il s'agit probablement du plus grand changement de paradigme scientifique depuis la révolution copernicienne.

D'un point de vue dynamique, les systèmes complexes sont décrits comme des **systèmes non-linéaires**. Des changements dans les éléments composants le système peuvent mener à des conséquences non proportionnelles.

Les **seuils de bascule** (tipping points) sont une des manifestations possibles de changements minimes se produisant au niveau de certains paramètres du système qui modifient drastiquement le comportement global du système.

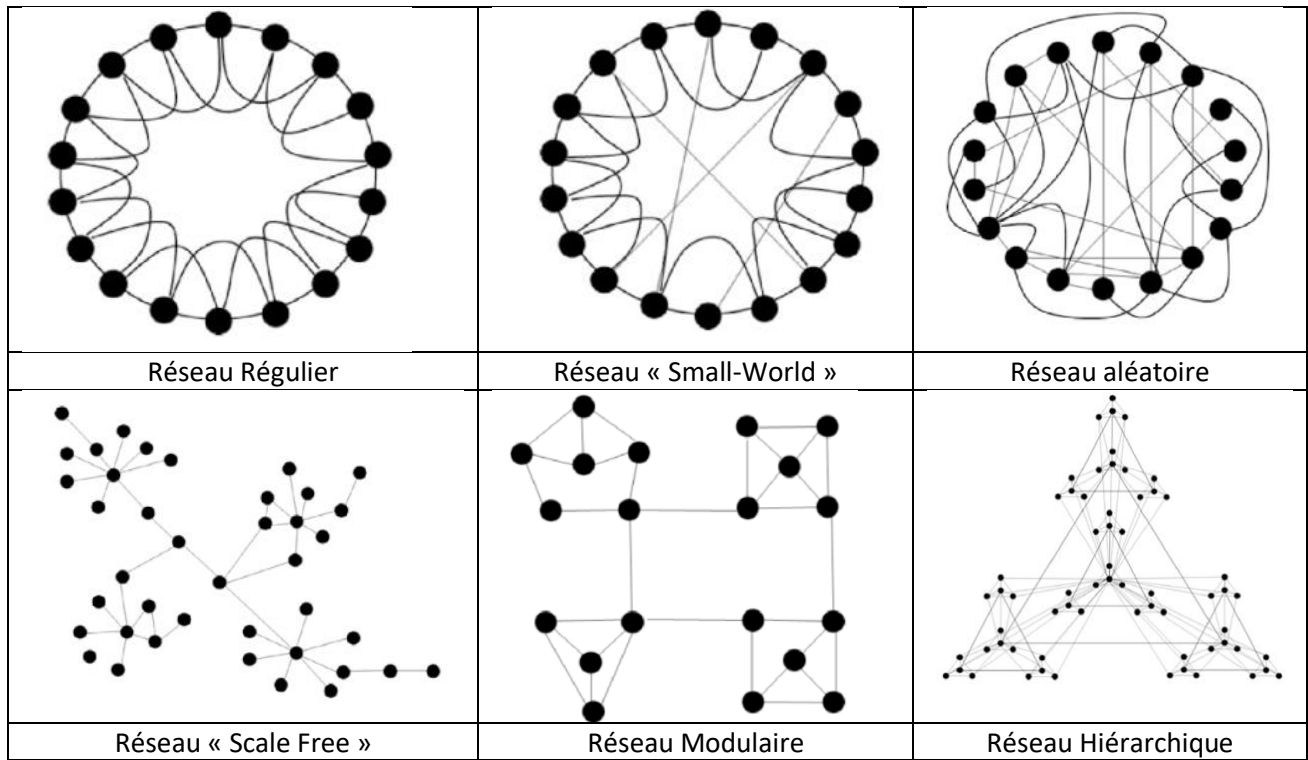
Un des aspects importants de la science de la complexité consiste à d'établir des modèles d'architecture des systèmes complexes. Si les sociétés humaines, les cellules nerveuses ou immunitaires, le changement climatique, les écosystèmes et la macroéconomie sont autant d'exemples de systèmes complexes, on comprend la nécessité de dégager des caractéristiques communes à ces ensembles tellement différents les uns des autres.

4 caractéristiques des systèmes complexes sont généralement identifiées :

1. L'organisation en réseau, avec **nœuds** et **interconnexions**.
2. La capacité du système à se trouver au-delà de l'équilibre thermodynamique, notamment par le simple fait qu'ils sont des systèmes ouverts échangeant énergie et matière avec leur environnement.
3. L'**existence de propriétés émergentes**. Ainsi, la totalité du système complexe est non seulement supérieure à la somme de l'ensemble de ses composantes, elle est aussi très différente. Cela s'illustre facilement en imaginant les fourmis individuellement et le fonctionnement de la fourmilière.
4. L'imprédictibilité dont nous avons déjà souligné l'importance.

Selon le nombre de nœuds et de connexion mais également la distance entre les nœuds ainsi que l'agglutination (cluster) des nœuds, le professeur italien P.L Gentili propose 6 modèles d'architecture des réseaux complexes.

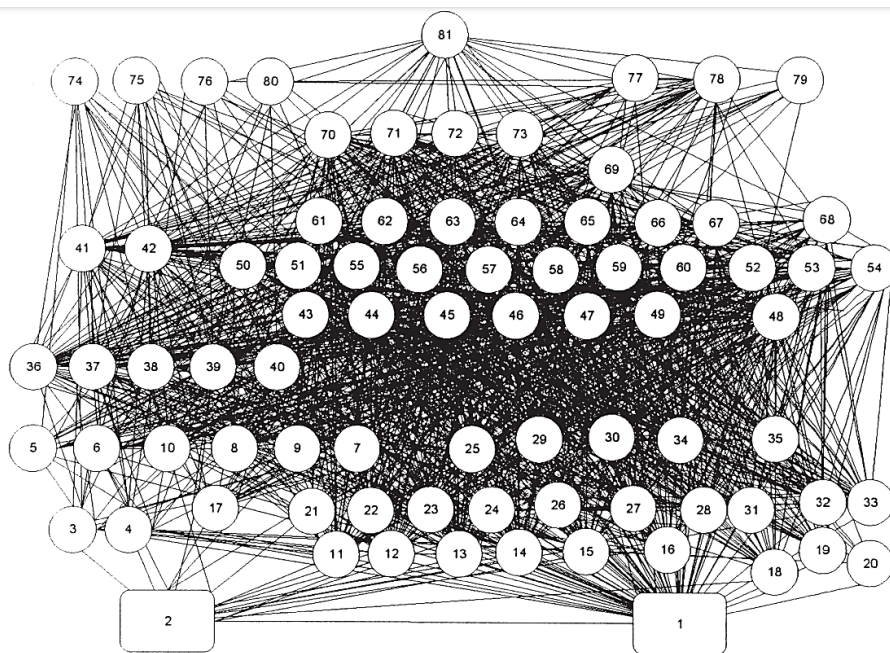
De façon concrète, si l'on considère le cerveau comme un système complexe, alors les neurones sont les nœuds et les synapses sont les liens de connexion.



Ces modélisations sont applicables à l'ensemble des systèmes complexes. Le climat, envisagé comme une multitude de lieux géographiques (les nœuds) et des compilations de données physico-chimiques établies au cours du temps (les connexions), correspond à un système complexe d'architecture « small-world ». Une étude approfondie de ce modèle révèle une grande efficacité tant au niveau de la vitesse de propagation des signaux qu'en termes de synchronisation des événements.

Pour illustrer l'importance de la modélisation des systèmes complexes, il est intéressant de considérer une publication de 2003 concernant l'écosystème marin de l'Atlantique nord et la gestion des ressources halieutiques. Le travail des scientifiques de la complexité sera alors de faire correspondre la spécificité de cette représentation avec un modèle d'architecture de réseau qui permettra d'identifier les caractéristiques propres à cette structure.

Pour reprendre les mots de George Box, célèbre statisticien britannique du début du XXe siècle : « tous les modèles sont faux mais certains sont utiles. »



Les cases représentent :

- (1) les détritius
- (2) le phytoplancton

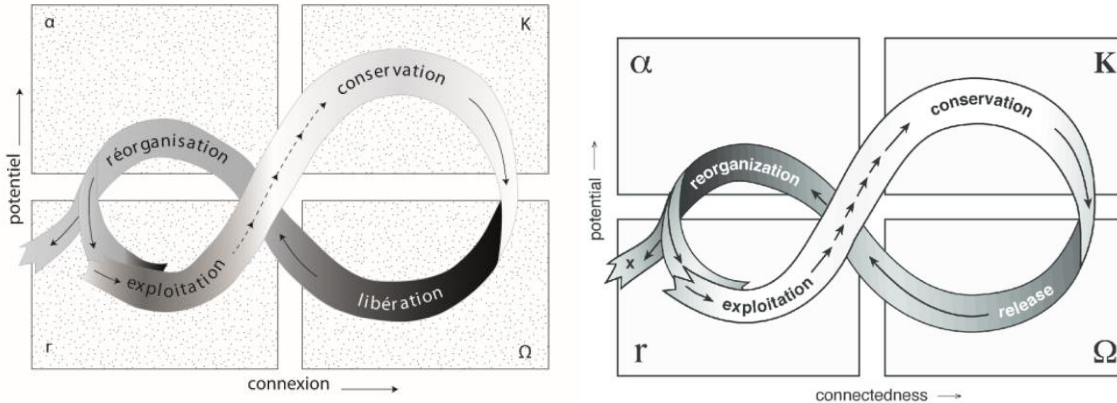
Les cercles représentent les niveaux trophiques supérieurs, soit des espèces ou des groupes d'espèces, le 81 étant l'homme.

La partie gauche du réseau contient généralement des organismes pélagiques, tandis que la partie droite et le milieu représentent des organismes benthiques ou démersaux (vivants sur le fonds).

La Panarchie

Lorsque la science de la complexité intègre la dimension temporelle à l'étude des systèmes complexes, elle permet de proposer des schémas d'évolution de la stabilité de ceux-ci. Un des plus pertinents modèle est celui des **cycles adaptatifs** définis dans le cadre de ce que Gunderson nomme **la panarchie**.

En opposition aux structures hiérarchiques qui sont par définition figées, la panarchie se concentre sur les transitions entre changement, résilience et stabilité ; en d'autres termes entre prévisible et imprévisible.



The adaptive cycle

Appliquons pour conclure ce cycle adaptatif aux écosystèmes naturels.

La phase (r) d'**exploitation** correspond à l'implantation d'organismes pionniers dans un biotope. Ceux-ci développent des stratégies de reproduction particulières leur permettant de **coloniser** rapidement l'espace. Vient ensuite une phase (K) de **consolidation** durant laquelle de la biomasse et des nutriments sont progressivement **accumulés**, les interactions entre espèces sont renforcées. Le système entre dans une **période de stabilité**. Si des forces extérieures (sécheresse, feux, maladies) interviennent, alors le système est déstabilisé et bascule en phase (Ω) de **libération** des ressources accumulées. Le potentiel d'utilisation de ces ressources chute brutalement jusqu'à ce qu'elles soient **réorganisées** (phase α), c'est à dire que d'autres organismes les utilisent pour de nouveau les exploiter (retour à la phase r).

Ce fonctionnement décrit un écosystème que nous pouvons qualifier de **soutenable**. Malheureusement lorsque la phase de libération (Ω) voit la majorité ou la totalité des éléments accumulés être perdus, exemple de l'érosion des sols consécutifs à la déforestation, il n'y a plus de réorganisation possible.