

Monsieur le Doyen de la FPO ;

Monsieur le Doyen de la FPT ;

Monsieur le Directeur de l'Ecole National d'Informatique et d'Analyse des Systèmes (ENSIAS) ;

Monsieur le Professeur slovène Matjaz Mulej, vice président et ex-président de l'Académie Internationale de Systémique et Cybernétique (IASCYS) ;

Mesdames et Messieurs les Chercheurs,

Chers invités,

C'est pour moi un grand plaisir et un insigne honneur de prendre la parole devant vous à l'occasion du Congrès International sur les systèmes Complexes (International Conference on Complex Systems ICCS'12) organisé en hommage au défunt Professeur Lorenzo Ferrer Figueras de l'Université de Valence, Espagne.

Tout à bord, je tiens à féliciter les organisateurs de cette manifestation sur le choix de la thématique, en l'occurrence, les Systèmes complexes, thématique d'une grande importance et d'actualité.

Stephen Hawking “ la complexité sera la science du 21ème siècle”.

IL n'existe pas de définition universelle des systèmes complexes, néanmoins, il existe un consensus sur des propriétés communes à la plupart des systèmes complexes, à savoir :

- 1) le système est composé d'un grand nombre d'éléments ;
- 2) souvent les éléments sont de plusieurs types et possèdent une structure interne qui ne peut être négligée ;
- 3) les éléments sont reliés par des interactions non linéaires, souvent de différents types ;
- 4) le système est soumis à des influences extérieures à différentes échelles.

Ces systèmes naturels (Systèmes biologiques, écosystèmes, des socio-systèmes) ne sont pas nouveaux en tant que tels, mais nos regards et nos besoins évoluent : avec l'avancée des connaissances et l'avancée technologique, on a le moyen d'avoir plus d'ambition qu'auparavant : Beaucoup d'avancée en biologie, en Mathématique, en Informatique,... le croisement interdisciplinaire

Pour matérialiser la définition d'un système complexe, je citerais quelques exemples :

- 1) **La fourmilière** est un archétype des systèmes complexes ;
- 2) **Cellule vivante** : Elle est composée de très nombreux éléments : des molécules, des macromolécules, etc., en constante interaction. La cellule peut se maintenir, évoluer ou disparaître. L'organisme vivant (l'organisme humain par exemple) est composé de quelques milliards de cellules, mais aussi de réseaux de communication (le système nerveux, le réseau de défense, c'est-à-dire le système immunitaire, le système de transfert d'énergie, notamment par l'intermédiaire du système sanguin, le système hormonal...). Ces éléments sont en interaction les uns avec les autres. Il y a donc bien interaction, réseaux et complexité globale.
- 3) **Une ville** aussi est un système complexe artificiel : Elle est constituée d'habitants en interaction les uns avec les autres, de bâtiments, de réseaux de transports ou d'autoroutes de l'information, de lieux de stockage de vivres, d'énergie, d'eau...
- 4) **Web** : Le Web est assimilable à un système complexe à la fois si l'on considère sa structure, c'est à dire l'ensemble des pages et des relations qu'elles entretiennent, et si l'on s'intéresse aux services qu'il propose et aux usages qu'en font les internautes. Un système complexe est composé d'un grand nombre d'éléments qui interagissent de **manière non concertée**. Cela correspond bien à ce que l'on peut observer sur le Web, que l'on considère les pages, les sites et les services qu'ils proposent ou les internautes et leurs pratiques. Dans tous les cas, **les acteurs sont très nombreux et ils ont une vision très limitée de l'ensemble du système** : les contributeurs de Wikipedia proposent des articles sur les sujets qui les intéressent, mais ils ne connaissent ni l'ensemble des autres contributeurs, ni l'ensemble des sujets qui vont être associés à chaque article. Les systèmes complexes se caractérisent aussi par leur capacité **d'auto-organisation** : les actions non concertées des acteurs font apparaître des structures qui organisent le système à différentes échelles.

On peut par exemple identifier sur le graphe du Web (les relations de liens hypertextes entre les sites) les « autorités », c'est à dire les sites qui sont très cités et que l'on peut considérer comme influents, et les « hubs », les sites qui citent beaucoup d'autorités, et que l'on peut considérer comme de bons relais pour l'information. On peut observer ces structures à plusieurs échelles, depuis un niveau local, avec des sites qui se détachent au sein de micro-communautés de quelques dizaines de sites, jusqu'aux « poids-lourd » du Web comme Google et Yahoo! qui sont présent sur l'ensemble du Web. Ce sont ces structures qui permettent aux algorithmes des moteurs de recherche de fonctionner efficacement. On observe le même type de phénomène sur des services comme Twitter où les informations déposées par chaque utilisateur peuvent être regroupées pour produire un moteur de recherche efficace sur l'actualité en temps réel. Ces structures se renforcent d'elles mêmes : le résultat de l'action d'un individu a des répercussions dans le système sur l'état futur de cet individu. Un site Web est d'autant plus « influent » qu'il est cité par d'autres sites « influents », les sites qui se citent entre eux renforcent mutuellement leur statut. On peut aussi prendre l'exemple d'un conducteur qui consulte l'état du trafic routier sur Internet et qui choisit de modifier son itinéraire : cela peut changer l'état du trafic si suffisamment de conducteurs prennent la même décision en même temps. Quelles sont les spécificités du Web en tant que système complexe ? Ces caractéristiques d'émergence expliquent le succès des plateformes collaboratives et le rôle essentiel qu'elles tiennent dans le Web aujourd'hui. En plus du très grand volume de données que ces services permettent de collecter, on espère bénéficier d'une « intelligence collective », comme dans le cas des suggestions des clients de Dell qui sont recueillies dans une base de données et exploitées pour définir de nouvelles orientations du fabricant. De la même façon, la communauté Open Source permet d'obtenir des logiciels qui peuvent être très fiables en permettant à « chacun » de modifier un logiciel pour l'améliorer. Le caractère très social du Web accentue l'importance des boucles de rétroaction : les recommandations que fait un utilisateur sur un service ou un produits sont susceptibles d'influencer d'autres utilisateurs qui vont à leur tour émettre des recommandations. Une expérience sur le marché de la musique en ligne montre que si on prend deux groupes de personnes à qui l'on demande d'écouter des morceaux et de choisir ceux qu'ils préfèrent, on obtient des classements très différents si l'on propose les morceaux sans autre information, ou bien si l'on propose les morceaux en indiquant lesquels ont été choisis par les autres utilisateurs. Si on multiplie les expériences, on se rend compte que le classement varie d'une fois sur l'autre lorsqu'on introduit les informations de choix. Les recommandations jouent donc un rôle déterminant dans le renforcement de tendances : si on pense que Facebook est la principale plateforme de réseau social, on va la choisir plus facilement que celle d'un autre concurrent moins connu. On retrouve exactement le

même principe dans le classement de « Pagerank » de Google : les sites sont d'autant mieux classés qu'ils sont cités par des sites à fort Pagerank, ce qui augmente leur visibilité et donc le nombre de lien qui vont pointer vers eux. Ces éléments constituent un enjeu essentiel de l'économie du Web : la valeur économique d'un service est largement liée à sa capacité à produire un effet d'émergence. Les sites de vente en ligne multiplient les outils de commentaires et de recommandations des produits afin de tirer parti des boucles de rétroactions. Le « marketing viral » s'inspire ainsi de modèles d'épidémiologie pour maximiser la diffusion d'une information ou d'une recommandation tout en minimisant son coût.

A la lumière de ses exemples, on peut tenter de définir les systèmes complexes comme « un ensemble constitué d'un grand nombre d'entités en interaction qui empêchent l'observateur de prévoir sa rétroaction, son comportement ou son évolution par le calcul»

« Un système est dit complexe si le résultat final n'est pas prédictible directement en connaissant les règles. »

Une autre définition plus parlante pour un économiste serait la suivante

« Un système complexe serait un système pour lequel l'observation de ce qui se passe au niveau micro ne laisse pas prédire les dynamiques macroéconomiques, à cause notamment des interactions entre les agents. »

On peut donc dire que la complexité se manifeste dans des situations, d'événements, de phénomènes que nous n'arrivons ni à comprendre ni à maîtriser.

Traditionnellement, la science, pour éviter de s'attaquer à ses systèmes complexes, a étudié le monde en le découpant en petites parties jusqu'à ce qu'il devienne suffisamment simple et stable pour être compris.

Le Philosophe français Lucien Séve a dit : «La rigueur des mathématiques confèrent aux lois fait parfois oublier que tout modèle, fût il aussi général qu'une loi, n'est qu'une représentation simplifiée de la réalité ...»,.

Le concept de complexité est caractérisée par un certains nombre de choses :

- **La complexité n'est pas synonyme de complication :**

Un phénomène compliqué peut demander beaucoup d'efforts pour se laisser appréhender, mais au final, avec du temps, de la méthode, de la rigueur et des moyens on peut en avoir une connaissance intégrale et détaillée. En revanche la complexité ne se laisse jamais appréhender totalement. On peut avoir une perception globale d'un système complexe, mais on ne peut pas comprendre son ensemble en détail et en prévoir ses réactions et son comportement.

A titre d'exemple, la plupart des programmes informatiques sont très compliqués, mais pas complexes pour autant. Avec du temps et de l'expertise, des spécialistes peuvent connaître tout leur détail et prévoir leurs résultats.

- **La réalité est constamment incomplète et inachevée.**

Admettre la complexité c'est tout d'abord admettre que certains aspects de la réalité échappent à notre entendement (représentation, limitation de l'information et des connaissances, incertitudes...).

- **Le tout est plus/moins que la somme de ses parties : Les prémisses de la complexité : « Le tout est plus que la somme des parties »**

Si on essaie de mettre ensemble des gens, des machines et des matières premières, ça ne va pas marcher comme ça. Il y a d'autres choses

(interaction dynamique organisée en fonction d'un but) : Le produit global du système est supérieur à la simple addition de ses éléments.

En 1657, Blaise Pascal a dit « ... Je tiens pour impossible de connaître les parties sans connaître le tout, non plus que de connaître le tout sans connaître particulièrement les parties »

- **Les interactions sont mystérieusement enchevêtrées**

Pour illustrer ce phénomène d'interactions enchevêtrées, **Edgar Morin** donne l'exemple du déclenchement de la première guerre mondiale. Dans un climat instable (la question balkanique et la décadence de l'empire ottoman), l'attentat de Sarajevo contre l'héritier de l'empire d'Autriche, déclenche l'ultimatum de l'Autriche-Hongrie à la Serbie, lequel déclenche la mobilisation de la Russie tsariste, laquelle déclenche la mobilisation allemande, la mobilisation française...

- **Les phénomènes complexes s'auto-organisent**

Jean-Louis Le Moigne, "Théorie du système général. Théorie de la modélisation", (1977), a donné du concept d'auto-organisation et d'autonomie des systèmes complexes, la définition suivante: « Un système complexe est, par construction, un système manifestant quelque forme d'autonomie : si ses comportements devaient être complètement dépendants d'interventions extérieures ou exogènes (sur lesquelles il n'exerce aucun contrôle), ils ne seraient pas complexes, mais au contraire complètement prévisibles. Il en est ainsi pour un automate programmé : la connaissance de son programme définit exhaustivement tous ses

comportements prévisibles. La complexité apparaît et se développe avec l'émergence d'une capacité d'autonomie au sein d'un système : ses comportements sont élaborés par le système lui-même, de façon endogène ; ouvert sur ses environnements qui le sollicitent et le contraignent, et en transaction avec eux il n'en est pas pour autant complètement dépendant : ayant ses projets propres, il est capable d'intelligence.»

- **Les systèmes complexes sont instables et évoluent par bifurcations :**

À la différence des phénomènes stables qui sont périodiques, prévisibles et souvent reproductibles, les phénomènes instables ont des manifestations aléatoires, imprévisibles, pour lesquelles les actions programmées s'avèrent inefficaces.

- **Incertitude et indécidabilité**

Edgar Morin disait à ce sujet, “c’est un mot bouche-trou : dire « c’est très complexe », c’est se résigner à l’incapacité de décrire, à l’incapacité de sortir d’une confusion de l’esprit, de constater un mélange non analysable et c’est avouer enfin son incertitude devant l’objet reconnu complexe”.

Lucien Sève, disait à ce sujet. Il s’agit d’ « un mot trop chargé sémantiquement pour prendre un contenu scientifique clair. »

Evoquer la complexité d'un système c'est affirmer la limite du savoir car il y a de l'incertain et de l'imprédictibilité.

On peut donc dire qu'un système est qualifié de complexe s'il n'est pas réductible à un système d'équations

Permettez-moi, au nom du Président de l'Université Ibn Zohr, qui n'a pas pu se joindre à nous à cause de son agenda très chargé et il m'a chargé de la remplacer, et à mon nom de vous souhaiter la bienvenue à Agadir et de souhaiter également à toutes et à tous un agréable séjour dans cette ville magnifique qui est Agadir.

Que vos travaux et vos conférences se déroulent dans un esprit scientifique constructif, bénéfique et avec des échanges intenses et fructueux.