

**CONSERVATOIRE NATIONAL
DES ARTS ET METIERS**

PARIS

FICHE DE LECTURE

Présentée par

Michel Olivier BOOH

DES RESEAUX ET DES SCIENCES

*Biologie, informatique, sociologie :
L'omniprésence des réseaux*

De Hugues Bersini

Editions Vuibert, 2005

Cours de comportement organisationnel (DSY 101)

Chaire DSO : Yvon PESQUEUX

SOMMAIRE

1) Biographie de l'auteur	4
2) Bibliographie	4
3) Postulat	5
3.1) Un monde de plus en plus complexe	5
3.2) L'informatique à la rescousse	6
4) Les questions posées par l'auteur	6
4.1) Introduction	6
4.2) Propriétés structurelles élémentaires des réseaux	6
4.3) Fonctionnalités des réseaux	6
4.4) Chaos	7
4.5) Réseau sémantique	7
5) Résumé de l'ouvrage	7
5.1) Propriétés structurelles élémentaires des réseaux	8
5.1.1) Réseaux à connecteur	8
5.1.2) Réseaux à agrégats	9
5.2) La fonctionnalité des réseaux	9
5.2.1) Réseaux afunctionnels	9
5.2.2) Réseaux fonctionnels	9
5.2.3) Réseaux fonctionnels individuels	10
5.2.4) Réseaux fonctionnels globaux	10
5.2.5) Réseau fonctionnel global hiérarchique	10
5.2.6) Six degrés de séparation	10
5.3) Structure des réseaux	11
5.4) Dynamique des réseaux	14
5.5) Métadynamique des réseaux	16
5.5.1) L'importance de la structure pour la dynamique ou la métadynamique	16
5.5.2) Chaos	17
5.5.3) La réponse d'un réseau aux perturbations extérieures	18
5.6) Réseau de fin de monde	20
5.6.1) Épidémie	20
5.6.2) Gaïa	21
6) Conclusion	21

7) Discussion et critiques.....	21
7.1) Les limites du modèle informatique	22
8) Actualités de la question	22
8.8.1) Evolution de la théorie des six degrés.....	22

FIGURE

Figure 1 : Différents types de graphes.....	12
Figure 2 : Réseau à connecteur.....	13
Figure 3 : Réseau chaotique.....	15
Figure 4 : Réseau frustré.....	17
Figure 5 : Attracteur étrange.....	18
Figure 6 : Réseau perturbé.....	19
Figure 7 : Point de bifurcation.....	21

1) Biographie de l'auteur

Hugues Bersini est directeur du laboratoire d'Intelligence Artificielle IRIDIA et professeur à l'Université Libre de Bruxelles. Ces principaux travaux sont sur la modélisation et le contrôle des systèmes complexes, les réseaux neuronaux, les sciences cognitives et l'informatique orienté objet. D'ailleurs il enseigne l'intelligence artificielle et l'informatique orienté objet (UML, Design patterns, Java, etc...) aux entreprises ainsi qu'aux universitaires. Il est auteur de neuf livres sur les technologies orientées objet et de plus 200 publications dans des revues scientifiques. Il est également membre de l'académie royale des sciences en Belgique.

Isabelle Stengers, philosophe des sciences, enseigne à l'Université Libre de Bruxelles. Elle a longtemps collaboré avec Ilya Prigogine (La Nouvelle Alliance, Entre le temps et l'éternité), et travaille depuis à une conception qui libère la diversité des pratiques scientifiques de toute unité réductrice.

2) Bibliographie

 <p>L'orienté Objet</p>	 <p>Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur l'informatique sans jamais oser le demander</p>	 <p>Les fondements de l'informatique</p>
--	--	---

 <p>Des réseaux et des sciences Biologie, informatique, sociologie: l'omniprésence des réseaux</p> <p>Hugues Bersini Préface d'Isabelle Stengers</p> <p>Vuibert</p>	 <p>Hugues Bersini</p> <p>DE L'INTELLIGENCE HUMAINE À L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE</p> <p>ellipses</p>	 <p>Qu'est-ce que l'émergence ?</p> <p>Hugues Bersini</p> <p>ellipses</p>
 <p>Comment définir la vie ? Les réponses de la biologie, de l'intelligence artificielle et de la philosophie des sciences</p> <p>Ouvrage collectif dirigé par Hugues Bersini et Jacques Reisse</p> <p>Jean-Pierre Changeux, André Brack, Isabelle Stengers, François Beaulieu, Antonie Laccane, Michel Merriam, Christian de Duve</p> <p>VUIBERT</p>	 <p>Informatique et cinéma</p> <p>Hugues Bersini</p> <p>ellipses</p>	 <p>Hugues Bersini</p> <p>HARO SUR LA COMPÉTITION</p> <p>Préface d'Axel Kahn</p> <p>puf</p>

3) Postulat

3.1) Un monde de plus en plus complexe

Nous vivons dans un monde plus en plus complexe et donc la compréhension ainsi que la maîtrise peuvent nous échapper cela est du selon l'auteur à une intrication des phénomènes impliqués, leur nombre et leur subtile interdépendance. En effet guérir un mal exige tout d'abord et avant tout de l'identifier et si possible de le comprendre.

D'après Bersini, un système sera d'autant plus complexe que sa compréhension globale ne pourra faire l'économie à la fois d'une étude exhaustive de tous les éléments qui le composent mais aussi et surtout de leur manière précise d'interagir. La seule manière d'affronter cette

complexité est de mieux la prédire, de mieux la reproduire cela grâce à l'utilisation de l'informatique.

3.2) L'informatique à la rescousse

Toutes les sciences de ces dernières décennies ont été marquées par l'utilisation de l'informatique. L'ordinateur grâce à la programmation informatique se substitue au seul raisonnement mathématique pour prédire le comportement d'un système. Il possède le potentiel lui permettant de recréer tout ce qui nous entoure, celle qui a fait passer l'intelligence et la vie du statut de naturel à celui d'artificiel, celle qui virtualise tout ce qu'elle touche, tout forme d'information, en la désolidarisant de son support matériel devenu inutile.

Un passage de témoin se ferait donc du mathématicien à l'informaticien et de l'informaticien à la machine qui irait plus vite que le cerveau humain et serait capable de prendre en considération tous les ingrédients de son modèle et les traiter.

4) Les questions posées par l'auteur

4.1) Introduction

En quoi les réseaux se départissent ils des graphes, objets fétiches des mathématiques y compris les plus avancées ?

Pourquoi les réseaux réactionnels font ils depuis une dizaine d'années l'objet de tant d'études dans les communautés scientifiques ?

4.2) Propriété structurelles élémentaires des réseaux

A partir de combien de connexions tirées aléatoirement, un réseau sera presque entièrement connecté ?

L'aléatoire est il à la portée de l'homme et de la nature ?

4.3) Fonctionnalités des réseaux

Quelles pourrait être l'entité extérieur tirant tout bénéfice du fonctionnement de notre cerveau sinon nous, et ce qui nous rend nous c'est-à-dire ce même cerveau ?

4.4) Chaos

S'il existe un bord ou des frontières ou ce situe exactement le régime entre le hasard et la nécessité et qu'est ce qu'il le distingue des différents chaos classiques déjà répertoriés dans la littérature classique ?

Au bord de quoi se trouve un réseau frustrée ? En quoi est-il singulier ? Entre quelles phases fait-il une transition ?

4.5) Réseau sémantique

Comment un mot fait-il pour s'imposer dans notre langage ? Comment notre lexique se construit-il ?

5) Résumé de l'ouvrage

Dans l'ouvrage (x) H. BERSINI propose une définition de graphe dynamique en s'appuyant sur l'étude de différents systèmes en interactions dans des domaines scientifiques variés. Il s'appuie sur un vocabulaire particulier. Pour lui, la notion de graphe correspond à une structure mathématique figée et reliée à la théorie des graphes. Selon lui toujours, les graphes ne permettent pas de modéliser les entités et les interactions qui existent dans les différents domaines que sont par exemple la physique, la sociologie, la chimie, ou la biologie. Il leur manque en effet un paramètre fondamental qu'est le temps, et la possibilité d'évoluer dans ce temps. H. BERSINI nomme ces graphes inscrits dans le temps des « réseaux ». La possibilité d'évoluer est définie comme étant la dynamique des réseaux.

Une distinction nette est faite entre deux types de dynamiques. D'abord il définit la « dynamique simple » ou « par défaut », qui caractérisent dans le temps l'évolution des valuations des composants des réseaux que sont les nœuds et les arêtes. Ensuite, il considère la dynamique structurelle des réseaux qui consiste en l'ajout et la suppression de nœuds et d'arêtes. Elle est nommée « métadynamique ». L'une des justifications de cette distinction entre la dynamique, qui concerne les changements de valuations des éléments, et la métadynamique, qui concerne les modifications structurelles du réseau, est que leur évolution dans le temps est souvent différente dans les exemples étudiés. Les événements de la dynamique se produiraient plus souvent que les événements de la métadynamique. Notons également que la dynamique est souvent définie de manière locale, sur chaque élément du réseau à l'aide d'« équations dynamiques » qui régissent l'évolution des valuations des éléments.

Suite à la présentation de ce modèle, l'auteur note deux remarques importantes. La première est que la métadynamique, en créant et en supprimant des éléments, peut entraîner la modification d'équations dynamiques sur les éléments existants, et entraîne la définition de nouvelles équations dynamiques sur les nouveaux éléments. Métadynamique implique donc dynamique. Une autre remarque fondamentale est que les équations de la dynamique sont souvent à l'origine de la création de nouveaux éléments. La dynamique est donc à son tour responsable de la création d'événements métadynamiques. L'auteur illustre son propos avec l'exemple de réactions chimiques. Des molécules modélisées par des nœuds dans un réseau possèdent des interactions (des liens dans le réseau) dont la dynamique est définie par des « équations dynamiques ». L'application de ces équations dynamiques peut provoquer la création de nouvelles molécules qui sont autant de nœuds dans le réseau.

5.1) Propriétés structurelles élémentaires des réseaux

Ce chapitre aborde les différents types de réseaux et leur topologie. Le premier étant celui de nature sociale, prenant simplement un ensemble de personnes et n'en connectant deux d'entre elles que si elles se connaissent et le second type étant celui des réseaux de transport exemple le réseau de métro entre stations.

L'analyse des systèmes complexe nécessite l'utilisation des modèles et les progrès liés à l'informatique nous ont permis de faire de grandes prouesses et d'améliorer nos connaissances H.Bersini regrette néanmoins, les limites des programmes informatiques qui empêchent une maîtrise optimale de tout problème la détermination du plus court chemin pour une connectivité complète étant l'un des exemples.

5.1.1) Réseaux à connecteur

Dans les réseaux à connecteurs, le nombre de connections par nœud est très variable. Il y a un petit nombre de nœuds qui présentent un très grand nombre de connections (les connecteurs ou hubs), et un très grand nombre de nœuds qui présentent peu de connexions. En fait, il y a une relation inverse entre le nombre de nœuds et le nombre de connections qui en partent et on obtient une droite de pente négative si on représente en coordonnées log/log le nombre de nœuds en fonction du nombre de connections qui en partent (d'où la dénomination aussi

employée de réseaux en loi de puissance). La structure du réseau américain des aéroports est souvent citée en exemple d'un tel type de réseau.

5.1.2) Réseaux à agrégats

La célèbre maxime « les amis de mes amis sont mes amis » décrit bien ce qu'est un réseau d'agrégat. L'agrégat est une partie du réseau dans lesquels les nœuds présentent entre eux une forte densité de connexions. Par contre la connexion avec les autres agrégats est obsolète. Comparé au réseau aléatoire les connexions ne se font plus au hasard mais par rapport à la capacité qu'ont les nœuds à s'unir en fonction de leur affinité.

D'après Bersini la présence de ces agrégats est due à la disposition spatiales des nœuds il s'appuie notamment sur les réseaux de types sociaux, d'ordinateurs et neuronaux pour étayer sa théorie. En effet on conçoit aisément qu'un ordinateur aura plus de facilité à se connecter (physiquement) à l'ordinateur le plus proche de lui.

5.2) La fonctionnalité des réseaux

5.2.1) Réseaux afunctionnels

Ils n'ont pas à proprement parler d'existence mais résultent d'une volonté d'effectuer un classement à partir d'une mise en relations. Chaque individu, chaque groupe entretient de nombreuses relations. Il ne se considère pas pour autant obligatoirement comme membre de réseaux, mais l'étude de ces relations, par la technique des réseaux peuvent apporter des renseignements intéressants, au sociologue comme au mathématicien, voire au militant. Ainsi, il peut s'agir des réseaux reconnus comme tels, et/ou de l'ensemble des interactions et connexions qui ont joué sur cette évolution et permettent de la comprendre.

5.2.2) Réseaux fonctionnels

Ils existent, soit matériellement (réseau routier) soit parce que les participants les reconnaissent comme tels (club, parti, voire groupes d'amis). A ce stade, le mot réseau n'implique rien en ce qui concerne la nature ou la forme des interactions. Dans un réseau où les nœuds sont connecté aléatoirement, la courbe du nombre de nœuds présentant un certain nombre de connexions portée en fonction de ce nombre présente une allure en cloche (une

fonction gaussienne). La grande majorité des nœuds ne possède un même nombre de connexions.

5.2.3) Réseaux fonctionnels individuels

La fonction du réseau est d'être utile à chaque membre ou chaque utilisateur du réseau (club, réseau routiers, internet) C'est le cas du réseau d'affinité le membre de ce réseau est conscient de l'avantage qu'il a à appartenir et à partager des intérêts commun avec des personnes similaires à lui. Le réseau satisfaisant en quelque sorte l'ensemble de ces membres. Par contre lorsque ce réseau n'a plus vocation à satisfaire ceux-ci, nous sommes dans un fonctionnement de type global.

5.2.4) Réseaux fonctionnels globaux

Cette fois ci la fonction du réseau dépasse les intérêts de chaque membre. Il y a une finalité globale, soit pour l'ensemble des membres, soit pour un utilisateur extérieur, et c'est là que se placent les réseaux militants. Mais là encore il y a des cas de figure très divers.

5.2.5) Réseau fonctionnel global hiérarchique

La fonction globale du réseau dépend d'un chef ou d'un centre (orchestre, secte, armée).

Réseau fonctionnel global distribué : la fonction globale du réseau ne dépend d'aucun membre particulier. Il peut y avoir dans ce cas, émergence de propriétés non prévues suite à la dynamique du réseau. (Réseau émergent, la fourmilière par ex.)

Il y a une relation entre la fonctionnalité de ces réseaux et leur structure. Ainsi les réseaux hiérarchiques ont une structure reconnaissable. Mais ce qui caractérise le réseau fonctionnel global émergent est d'abord sa dynamique. Tous les réseaux non centrés ne sont pas des réseaux émergents.

5.2.6) Six degrés de séparation

C'est un Hongrois qui, en 1929, jeta les bases de l'idée selon laquelle 2 êtres humains, n'importe lesquels, pouvaient être mis en contact au travers de 5 maillons humains

C'est une théorie qui a été reprise et retravaillée par le psycho-sociologue Stanley Milgram en 1967 à travers "L'étude du petit monde". Il souhaite vérifier cette théorie en se cantonnant aux Etats-Unis et en suivant ce protocole : une lettre est remise à 50 personnes, avec pour seule information le destinataire auquel elle doit parvenir. Ils n'auront pour y arriver évidemment le droit que de la faire passer à l'une de leur connaissance.

Certains facteurs s'avèrent en effet jouer un rôle notoire dans la réussite ou l'échec de l'expérience :

La motivation des maillons : annoncer que la remise de cette lettre est une question de vie ou de mort - et non un bonjour à grand-mère - change très sensiblement les résultats.

- ◆ Le discernement des maillons : il ne suffit en effet pas pour le maillon de "passer à son voisin", mais bien de choisir parmi tous les gens qu'il connaît celui qui lui semble le plus à même de jouer ce rôle de prochain maillon.
- ◆ Le passage obligé par des connecteurs : par connecteur, on entend "personne ayant un gros réseau social". Les expériences menées plus tard par Milgram lui-même, et obtenant de bien plus fort taux de réussite, montreront que différentes lettres sont passées par les mêmes maillons (une sorte de plaque tournante donc).

5.3) Structure des réseaux

L'étude de la structure (ou topologie) des réseaux appartient à une branche déjà ancienne des mathématiques, la théorie des graphes. Les réseaux y sont représentés sous forme des éléments (nœuds) et des connexions entre eux (arcs). Un graphe est donc la représentation statique d'un réseau. Il existe un très grand nombre de types ou familles de graphes, et aussi un très grand nombre de propriétés mathématiques liées à ces structures. Cette grande variété contraste avec la perception dominante actuellement dans le monde militant d'Un Réseau, le plus souvent non qualifié et implicite, et décrit comme distribué (non centré), non hiérarchique.

La figure ci-dessous (figure 1) montre quelques types de structures de réseaux ; elle est simplement destinée à illustrer la diversité de celles-ci. Parmi elles, le réseau à connecteurs, découvert il y a peu (vers 2000) par des physiciens étudiant le réseau du web, présente la particularité que la courbe représentant le nombre de nœuds en fonction du nombre de connexions qui en partent est une droite en coordonnées logarithmiques, autrement dit, il y a un très petit nombre de nœuds très fortement connectés (les connecteurs principaux), des nœuds moyennement connectés et beaucoup de nœuds très faiblement connectés. On voit

qu'en fait elle représente une sorte d'intermédiaire entre le réseau complètement non centré et entièrement connecté (en haut à gauche) et le réseau hiérarchique. Il se trouve que cette structure est très fréquente, non seulement dans les réseaux fabriqués par l'homme (web ou réseaux d'aéroports) mais aussi dans les réseaux biologiques. La (figure 2) représente le réseau d'interaction des protéines de la levure. C'est un superbe réseau à connecteurs.

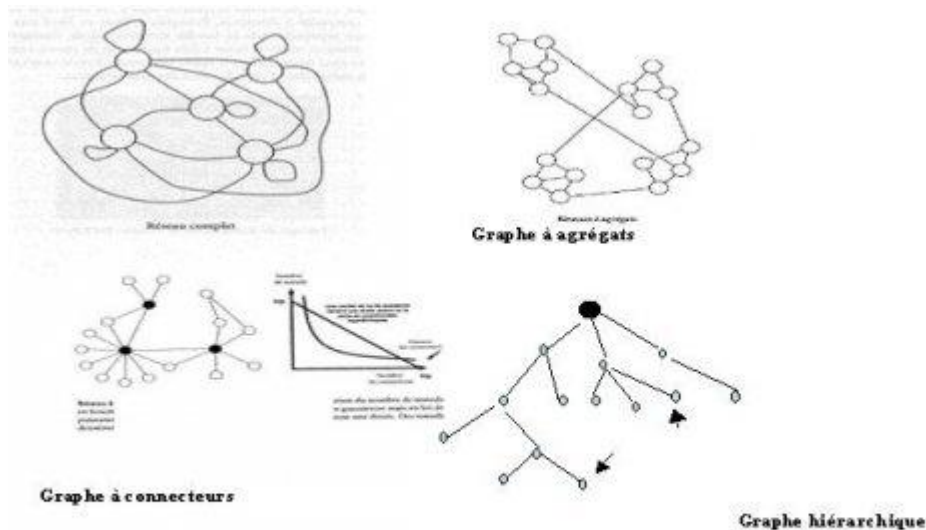


Figure 1 : Différents types de graphes

La connectivité mesure la distance moyenne entre deux nœuds pris au hasard, en terme de nombre minimal de connections qu'il faut franchir pour joindre les deux nœuds, comparé au nombre total de connections. Dans le réseau complet (tous les nœuds connectés entre eux) cette distance est minimale le réseau complet étant une manière idéaliste et couteuse de représenter des réseaux. Car selon l'auteur peu de réseau possède une connectivité complète. Il cite pour exemple le cas des musiciens qui n'ont pas tous partagé la même scène. Certains réseaux (les réseaux aléatoires et les réseaux à connecteurs) présentent un comportement particulier appelé 'petit monde', en ce sens que la distance est très faible comparée au nombre de nœuds et de connections. Le plus impressionnant est le web, où l'on a pu mesurer que le nombre de 'clicks' pour joindre deux sites au hasard parmi les milliards de sites est de ...19 ! On voit que le réseau hiérarchique au contraire a une forte distance entre les nœuds. . Cette propriété est importante pour mesurer par exemple, la capacité de circulation de l'information dans un réseau.

Exemple de connecteurs dans un réseau biologique : les interactions protéiques chez la levure

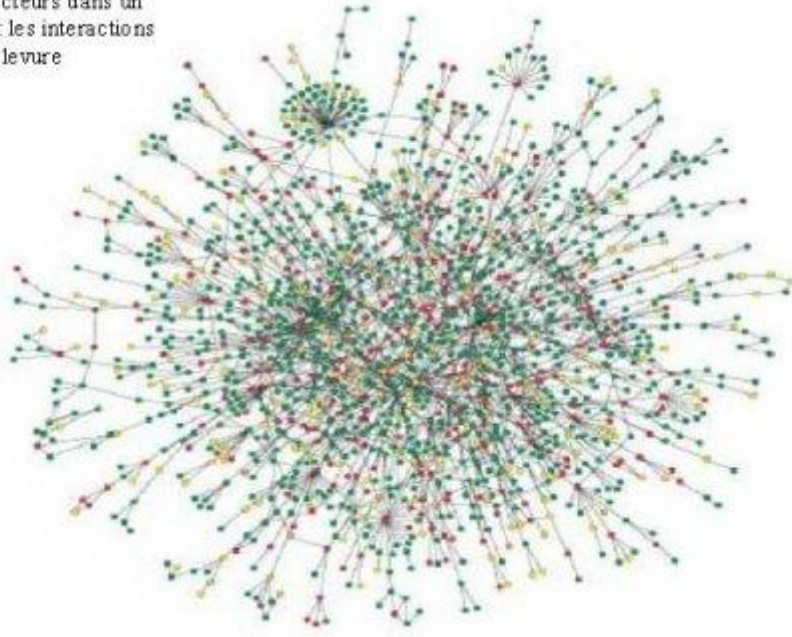


Figure 2 : Réseau à connecteur

Une autre propriété est la robustesse, c'est-à-dire la capacité d'un réseau à résister à la perte d'un nœud ou d'une connexion au hasard. Les réseaux hiérarchiques ou à connecteurs sont très robustes à la périphérie, mais peu robustes si on touche le centre ou un connecteur important. Mais les réseaux à connecteurs permettent d'aller d'un nœud à l'autre par plusieurs chemins, ce qui en augmente considérablement la robustesse et l'efficacité.

Une propriété des graphes explique la courbe en S que l'on trouve toujours si on fait les statistiques de propagation d'une innovation. On peut voir cette propagation comme la formation de connexions entre individus d'une population. (Ceux qui utilisent l'innovation peuvent être considérés comme connectés, et ils sont très peu nombreux au début). C'est évidemment un réseau a fonctionnel où se retrouve une propriété des réseaux pas ou faiblement connectés. Si on augmente progressivement le nombre de connexions aléatoires entre les nœuds, ils se forment d'abord de petits agrégats non connectés entre eux (T1), puis brusquement, il se produit une sorte de transition de phase (ou saut qualitatif) et tous les nœuds ou presque se trouvent rapidement connectés (Phases T2 et T3). : L'innovation s'est répandue dans toute la population selon cette courbe en S. (On peut le réaliser expérimentalement en connectant des boutons deux à deux par des fils, et en regardant combien de boutons on soulève à la fois en soulevant un fil, au fur et à mesure que le nombre de fils augmente. Si les connexions sont régulières (collier de bouton), le nombre de boutons connectés est proportionnel au nombre de fils ; mais si on réalise les connexions au hasard

sur des boutons éparpillés sur une table, on verra que la taille des agrégats reste longtemps faible, puis augmente brutalement pour atteindre l'ensemble des boutons, selon une superbe courbe en S.

On augmente encore la diversité si on prend en compte le fait que les connexions peuvent de plus être orientées, qualifiées et pondérées. Orientée lorsque l'interaction va de A vers B par exemple, mais pas de B vers A (ce qui est très important lorsqu'on se pose le problème de la démocratie). Mais l'interaction peut être qualifiée, si la nature de l'interaction est prise en compte : une interaction peut être positive (A influe positivement sur B si l'action de A favorise celle de B par exemple), négative dans le cas contraire. Enfin l'interaction peut être pondérée si on tient compte de la force de l'interaction ; A peut avoir plus d'influence sur B que sur C.

Ces renseignements deviennent indispensables si l'on veut étudier la dynamique d'un réseau.

5.4) Dynamique des réseaux

On arrive là dans un domaine à la fois passionnant et encore peu étudié. La raison en est que les interactions, dans la plupart des réseaux sont non linéaires, pour des raisons d'ailleurs diverses, dont la plus importante est que les interactions multiples ne peuvent en général pas être linéaires.

Lorsqu'un réseau se forme, les interactions entre les constituants (qui ne sont pas forcément identiques entre les différents constituants) modifient la dynamique propre de chaque élément de sorte que, après une période d'adaptation qui peut être longue et assez erratique, le réseau arrive dans un état où tous les nœuds ont un même type de comportement. Ce comportement peut être un état d'équilibre ; tous les nœuds ont atteint une sorte de régime stationnaire, tel que les règles données par les interactions sont respectées par tous. Le consensus est un bon exemple de ce genre d'état d'équilibre, où la décision prise répond à l'ensemble des règles d'interactions entre tous les partenaires. Il peut y avoir plusieurs manières de respecter ces règles, ce qui fait qu'il peut y avoir plusieurs états d'équilibre possibles. Evidemment un réseau donné est, à un moment donné dans un de ces états. Mais il peut basculer dans un autre, s'il est affecté par une perturbation. Inversement, dans une population, les individus peuvent se répartir entre les divers états. On peut penser par exemple à l'état de ce que l'on appelle 'l'opinion publique', et que je préfère appeler l'imaginaire collectif (voir ci-dessous).

Si les éléments sont des oscillateurs, leur mise en réseau conduit à rendre les fréquences d'oscillation identiques, si c'est possible, mais ils peuvent battre en phase ou en opposition de phase. Cette mise en oscillations synchrone, chacun de nous l'a rencontrée lors d'un meeting ou d'un concert lorsque les applaudissements se mettent à l'unisson. C'est un cas simple de comportement spontanément auto organisé émergent.

Enfin, il se peut qu'aucun équilibre ni oscillation synchrone ne soit possible. On a alors un état où tous les nœuds manifestent un comportement chaotique. Hughes Bersini illustre ces états avec un modèle extrêmement simple. (Figure 3). Les éléments figurés par des cercles, chacun capable d'être noir ou blanc, sont en interactions telles que chacun a pour ordre d'être le contraire de celui avec lequel il est en relation. On voit sur la figure ci-dessous, que si on a simplement deux nœuds, il y a deux états d'équilibre possibles, soit le premier nœud est blanc et l'autre noir, soit l'inverse. Si on relie, toujours avec la même règle un troisième cercle au premier, le nouveau venu se met immédiatement à l'opposé de la couleur de son partenaire, et l'équilibre est maintenu. En revanche si la règle 'être le contraire de celui auquel on est lié' relie maintenant les trois nœuds, aucun équilibre n'est possible, chaque cercle change erratiquement de couleur au cours du temps. C'est ce que Bersini appelle un chaos frustré. Ce réseau est distribué (le comportement ne dépend pas d'un des éléments), et son comportement est émergent, bien qu'il ne soit généralement pas souhaitable.

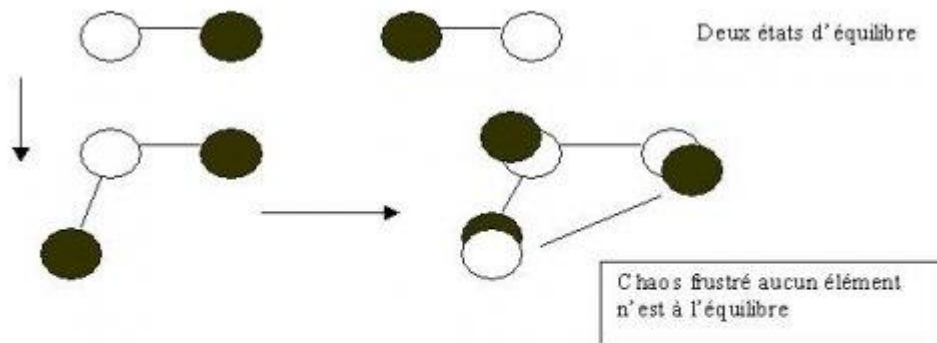


Figure 3 : Réseau chaotique

Il n'y a pas de règles générales permettant de prédire la dynamique de n'importe quel réseau. Le cas des réseaux à chaos frustré est cependant probablement assez général et assez

repérable. Peut être aurait on pu prédire l'échec de la tentative de candidature unitaire au double consensus (ou le prévenir) si on avait pris conscience dès le début non seulement du mode d'organisation en réseau des éléments constitutifs des collectifs mais surtout des interactions dynamiques entre les éléments, c'est à dire en l'occurrence les coopérations, les compatibilités et les incompatibilités (ou préalables). Une autre règle importante est que tous les éléments connectés d'un réseau sont dans le même état d'équilibre. Si il s'avère que certains éléments sont à l'équilibre tandis que d'autres oscillent ou sont en plein chaos, c'est qu'ils appartiennent en fait à des réseaux différents.

Enfin la présence de rétroactions positives est nécessaire pour obtenir plusieurs états stables possibles, et une rétroaction négative doit permettre l'existence d'oscillations ou de chaos. Les deux types de rétroaction étant nécessaires à l'émergence de l'auto organisation.

5.5) Métadynamique des réseaux

Ce terme a été proposé par Bersini pour rendre compte des dynamiques qui affectent non pas le comportement de chacun des éléments d'un réseau, mais le comportement du réseau, en terme de croissance, modifications des interactions, apparition ou disparition d'interactions etc. Les études effectuées par Bersini ont consisté en simulations sur ordinateur de comportements de réseaux plus ou moins inspirés de la biologie (immunologie, cerveau). Ce qu'il a montré, c'est qu'il y a une relation entre la structure d'un réseau, et ses comportements dynamiques et métadynamiques.

5.5.1) L'importance de la structure pour la dynamique ou la métadynamique

Pour illustrer la relation entre structure, dynamique et métadynamique je reprendrai l'exemple des cercles blancs et noirs. (Figure 4) On voit qu'il y a deux manières de supprimer le chaos frustré, qui nécessitent toutes deux une modification de la structure du réseau. L'une est de supprimer une des trois connexions. (On revient alors au deuxième cas de figure). L'autre est de rajouter un cercle, toujours avec la même règle. (Évidemment on pourrait aussi changer les règles, mais c'est une autre question).

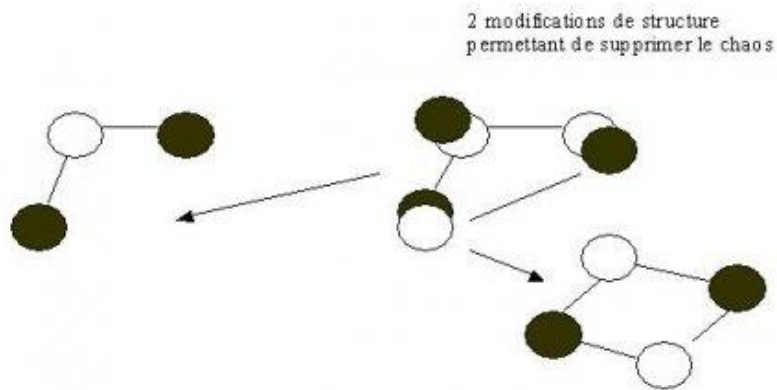


Figure 4 : Réseau frustré

5.5.2) Chaos

Que des structures simples puissent donner naissance à des fonctionnalités complexes, voilà depuis toujours au même titre que l'auto organisation, l'émergence et la vie artificielle une réalité biologique, reproductible uniquement de manière informatique, et bien tentante pour des sciences cognitives qui recherchent à se solidariser d'avantage de leur substrat biologique.

Le chaos condamne toute prédictibilité à long terme, la prédictibilité étant indissociable du déterminisme. L'auteur introduit un nouveau régime dynamique pour lequel le déterminisme flirte avec l'aléatoire.

Une trajectoire aléatoire visite de façon non défini toute l'espace des valeurs possibles sans jamais repasser deux fois par le même point. L'auteur définit donc le chaos comme une version très perturbé des réseaux cycliques et cite comme exemple de régime chaotique l'attracteur de Lorenz qui a une nature alternativement expansive et contractante ce qui explique l'émergence de l'autosimilarité structurelle (Structure fractale).

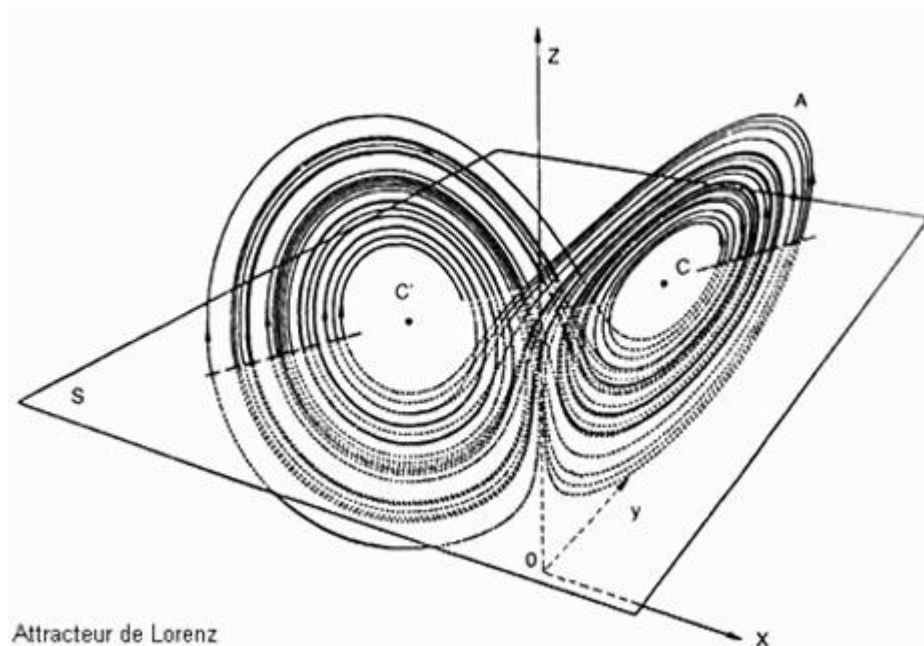


Figure 5 : Attracteur étrange

L'auteur distingue trois types d'attracteurs d'une part le point fixe et le cercle limite (cycle) qui se caractérisent par des mouvements atteignant un état stationnaire ou qui se reproduisent indéfiniment et d'autres part, l'attracteur étrange (Lorenz) présenté à la (figure 5).

5.5.3) La réponse d'un réseau aux perturbations extérieures

Un réseau réagit comme un tout aux perturbations venues de l'extérieur. La nature de la réaction d'un réseau aux perturbations extérieures peut concerner la dynamique des nœuds du réseau ou la métadynamique du réseau ou les deux. Cette réaction dépend à la fois de la nature de la perturbation et de l'état du réseau à ce moment là. La même perturbation peut n'avoir quasiment aucun impact, ou une conséquence très grande sur le même réseau, selon l'état de ce réseau. Une perturbation peut modifier temporairement la dynamique du réseau. Celui-ci après un certain temps revient à son équilibre initial. Ou bien il peut se produire une modification qualitative, après la perturbation, le réseau trouve un autre équilibre.

Il y a deux cas de figure très différents. Si l'équilibre précédant la perturbation faisait partie d'une famille d'états stationnaires possibles, la perturbation peut avoir « envoyé » le réseau dans un autre 'bassin d'attraction'. Cette modification peut - parfois difficilement - être réversible.

Un autre cas de figure correspond à une bifurcation : sous l'influence de la modification de certaines conditions (paramètres de contrôle) qui ont provoqué la perturbation, la nature des

états d'équilibre possibles change. Le nouvel état d'équilibre n'était pas un « préexistant possible » dans le réseau avant la bifurcation. Par exemple, un réseau à l'équilibre peut devenir oscillant ou chaotique, un réseau à un seul bassin d'attraction peut en acquérir deux possibles (ou l'inverse)... La réversibilité de la bifurcation nécessite un retour aux conditions préexistant à la perturbation, ce qui est le plus souvent impossible notamment si le réseau contribue lui-même à modifier ses conditions.

Les éternels ronds noirs et blancs vont encore nous permettre d'illustrer cette idée (figure 5). Ou bien la perturbation fait passer d'un des deux états d'équilibre possible à l'autre (Si un des cercles blancs est peint en noir par exemple). Ou bien la perturbation change la nature des états d'équilibre, ici il y a apparition d'un chaos à la place de deux états possibles si on enlève un des cercles.

On peut aussi tenter de représenter cet état de choses d'une autre façon (figure 6). Le deuxième schéma représente selon les axes X et Y, une sorte de paysage dans lequel peuvent rouler des billes, qui sont à l'équilibre au fond des vallées. L'axe Z représente soit le temps, soit la modification d'un paramètre important. Je prendrai comme exemple la modification de l'imaginaire collectif concernant un problème (Pensons à la nécessité de sauvegarder la planète par exemple). Au début, la population est divisée en deux parties (inégales d'ailleurs), chacun restant sur ses positions (bassin d'attraction) et ne comprenant ou ne connaissant pas la position des autres. Parfois une prise de conscience fait passer une personne d'un bassin à l'autre. Puis, à un moment donné, les conditions ont changé, le réchauffement de la planète est devenu évident, il s'est produit une bifurcation, tout le monde ou presque est devenu sensible au problème, il n'y a plus qu'un seul bassin d'attraction.

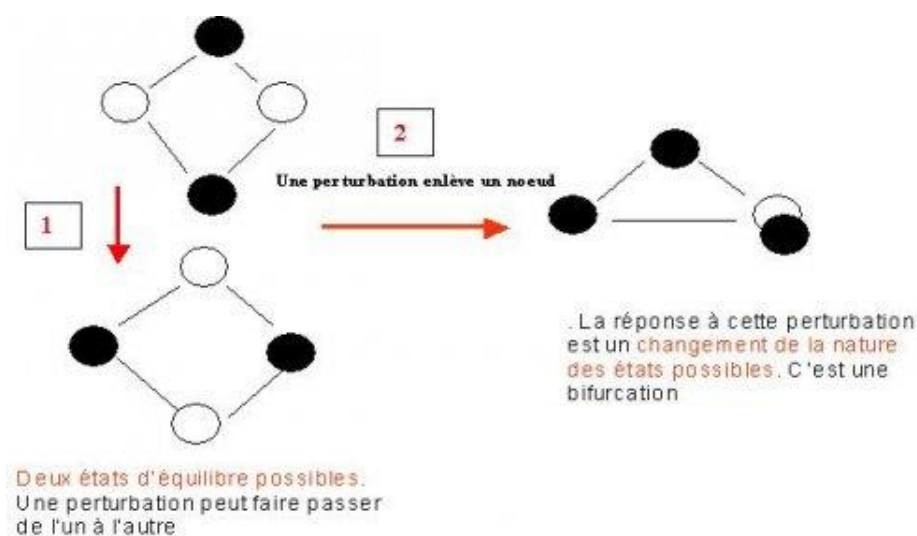


Figure 6 : Réseau perturbé

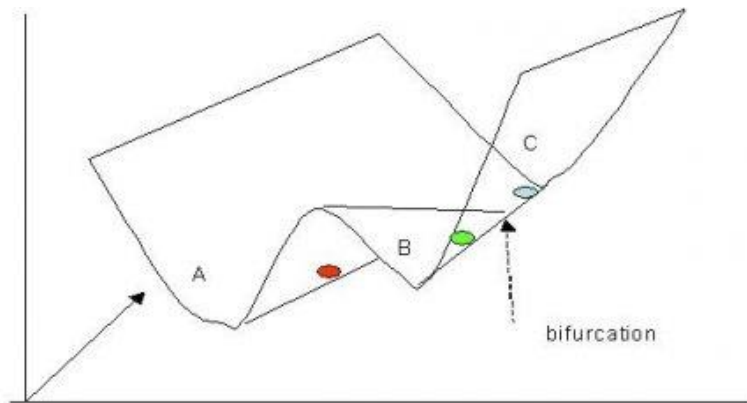


Figure 7 : Point de bifurcation

5.6) Réseau de fin de monde

5.6.1) Épidémie

A l'écriture de ce livre la presse se faisait l'écho de la grippe aviaire et des prédictions effarantes par leur disparité et l'absence de caractérisation fiable des sources avaient été émises par les médias.

D'après Bersini la question se pose donc de savoir à quoi est due cette extraordinaire marge prédictive et à son avis cela est due à la manière donc les épidémiologistes envisagent le risque. Deux facteurs en sont donc la cause :

- ◆ La moyenne de personnes connectées
- ◆ La probabilité de transmission de la maladie à une personne tierce

Le produit de ces facteurs permet aux épidémiologistes de faire des prédictions sur les risques de transmission. Si le produit de ces facteurs est inférieur à 1, l'épidémie restera contrôlée. Dans le cas où le résultat de ce produit serait supérieur à 1, l'ampleur de l'épidémie sera catastrophique. On passe donc d'une broutille à une apocalypse. Ce mode de prédiction reste cependant à revoir selon l'auteur car il ne prend pas en compte l'homogénéité ou l'uniformité de la topologie.

Cette valeur seuil fait référence en réseau à la transition d'Erdős qui débouchera sur l'attribution du prix Nobel de physique à Kenneth Wilson en 1982. Cette transition faisant

généralement le pont entre une phase de la matière plutôt ordonnée à une phase plus désordonnée.

5.6.2) Gaïa

L'auteur ambitionne de peser l'effet de la science des réseaux sur la compréhension ou idéalement la maîtrise des phénomènes naturels ou technologiques qui nous menacent aujourd'hui. Les acteurs qui caractérisent les phénomènes naturels ou technologique ont tendance à sous évaluer les conséquences positives que peuvent avoir le système cela est du à une vision individualiste et non collective du phénomène. La théorie de « Gaïa » spécifie que les organismes vivants, par un réseau subtil et équilibré de réactions chimiques interagissent avec leur environnement de manière à favoriser et stabiliser les conditions climatiques et chimiques propre à leur épanouissement

Selon cette théorie la terre serait capable de s'auto réguler afin de maintenir une situation d'équilibre et favorable aux humains. L'auteur déplore les dérives théologique et mystique lié à cette théorie démontre que derrière ce que certain prene pour de la magie n'est rien d'autre qu'un équilibre physicochimique.

6) Conclusion

L'usage de la science des réseaux peut être de fournir des métaphores plus riches pour penser les situations réelles. Et en effet, les propriétés des réseaux (structures, états d'équilibre, bassins d'attraction, bifurcations, émergence, mais aussi boucles de rétroactions positives nécessaires pour que des propriétés globales émergent) peuvent suggérer des compréhensions, des réflexions, nouvelles.

7) Discussion et critiques

Étudier la dynamique du réseau c'est beaucoup plus difficile dans l'état actuel des connaissances. Une étude précise nécessite de connaître non seulement l'existence des interactions, mais leur direction, leur qualification, leur pondération. Et puis d'être capable de faire tourner tout cela dans un modèle mathématique ou au moins une simulation informatique qui permettra de prédire les états possibles (et surtout les états impossibles).

Dans l'état actuel des choses il y faut une simplification très importante, ce qui peut être très instructif si cela permet de trouver celles des interactions qui sont déterminantes dans la dynamique c'est à dire celles qui sont impliquées dans des circuits de rétroaction. Dans l'action politique et sociale, les rétroactions les plus importantes concernent probablement l'état de l'imaginaire collectif. La phrase 'quand une idée s'empare des masses' prend dans ce contexte une importance renouvelée, car elle atteste d'une dynamique non linéaire sous l'impulsion d'une boucle de rétroaction positive entre la propagande militante et l'imaginaire collectif. Pour préciser un petit peu, on peut dire, en restant encore très schématique, que la propagande militante cherche à modifier l'état (aliéné) de l'imaginaire collectif dominant. (Changement de bassin d'attraction, ou bifurcation). Pour cela, on cherche à faire diffuser les idées, à la manière dont diffusent les innovations : plus de personnes auront adhéré à l'idée de transformation sociale, plus seront nombreux ceux qui la diffusent, c'est bien une boucle de rétroaction positive.

7.1) Les limites du modèle informatique

Je me réfère au livre de écrit par Michael S. Gazzaniga, Richard B. Ivry, George R. Mangun sur « Neurosciences cognitives: la biologie de l'esprit » qui nous explique qu'il y'a toujours une simplification radicale dans la façon dont le système nerveux par exemple est modélisé. Les modèles sont donc d'une envergure limitée ne mettant en jeu que quelques centaines d'éléments et occultant des milliers d'autres cela dans le but de justifier la véracité de telle ou telle hypothèse.

En définitive l'utilité des modèles est plus faible quand il s'agit de prédire l'état d'un système et le projet américain de « biosphere » qui a montré l'incapacité à maîtriser la complexité en atteste cependant ces limitations qui à mon sens sont actuelles ne sont pas insurmontables.

8) Actualités de la question

8.8.1) Evolution de la théorie des six degrés

Entre temps, toutes les universités, d'Harvard à Cambridge, se sont penchées sur ce sujet fascinant. Mais c'est l'étude des réseaux sociaux et de l'impact d'Internet qui a mené aux plus récentes découvertes et calculs; car en effet, au bout du compte, c'est un algorithme mathématique, vérité incontestable, qui était le plus à même de prouver quelque chose !

Ces études menées et par Microsoft et par le groupe de recherche O2 tendraient à montrer que le nombre de maillons s'est réduit à ... 3 !

Messenger, Facebook, et tous les autres réseaux permettant la mise en relation rapide des êtres entre eux en seraient les responsables.

Les facteurs de réussite de l'expérience existent pourtant toujours, et si l'on retrouve l'ethnie dans ceux-ci, c'est bien évidemment le déploiement d'Internet dans le monde qui est cette fois la plaque tournante. On note cependant qu'un autre facteur est important : les centres d'intérêts. Oui, les profils, sur quel que site que ce soit, quel que réseau que ce soit, vous les demandent ! Ces affinités électives entre internautes jouent donc un rôle primordial dans la possibilité de lien et de connexion entre les êtres.