

LA THÉORIE DES SYSTÈMES ET SYSTÉMIQUES

Dr. Guy TURCHANY

*Prof. of Town and country planning, Environmental management and Sustainable Development.
Member of the Executive Committee of the International University of Sustainable Development UIIDD.
Member of the Hungarian Committee of EMAS Accreditation. Vice-President the World Council Hungarian.
University Professors. Expert No. EE19981B07638 of the European Commission and SZ-0701-78 of Tempus.*

INTRODUCTION

Dans le cadre de la Décennie 2005-2014 des Nations Unies de l'Éducation pour un Développement Durable (EDD), a été organisée, avec beaucoup de succès, (plus de 650 participants de 72 pays), la conférence « Agir ensemble pour Eduquer au Développement durable » à Bordeaux, du 27 au 29 octobre 2007. Il m'a été demandé de faire un exposé introductif à l'atelier de travail intitulé « Une approche systémique aux changements de programme d'études au développement durable ».

La question me paraissait simple, comme architecte-urbaniste, je supposais savoir ce que système voulait dire. Mais seulement en parlant avec des collègues et des amis je me suis rendu compte qu'on n'entendait pas tous et toujours la même chose. Du coup et une fois de plus, il m'était évident que : « Les plus grands malheurs de l'humanité naissent de malentendus, et non pas comme le veut la polémique partisane, de la perversité des uns triomphant de la bonté naturelle des autres. Mais les pires malentendus, à leur tour, naissent de confusions faites sur les mots. Il n'y a pas de "questions de mots" au sens futile, accoutumé, parce que tout est d'abord question de mots, au sens précis et définitif de l'expression. Si nous ne partons pas, dès nos premières démarches, d'une définition concrète des mots en jeu, la partie est perdue d'avance ou plutôt elle va se jouer dans un domaine où ne subsiste plus ni sanction ni arbitrage; où chacun peut prétendre d'avoir gagné; où la victoire de l'un n'est pour l'autre que tricherie. J'appelle sanction le simple jugement de vérité ou d'erreur, dans un domaine où quelques vérités fondamentales sont reconnues. »¹

Voilà le fond même du problème quant on parle de culture, de civilisations, de développement durable, de croissance et d'éducation au développement durable (EDD) ou encore de système ou de la théorie systémique. Définir le sens et la portée des concepts, pour pouvoir par la suite, étudier les possibilités d'une application, sociale, politique et technique pour un véritable développement durable voilà le véritable défi pour notre société.

C'est la raison pour laquelle, je me suis dit, que j'allais essayer de faire le tour du problème et c'est le résultat de cette petite recherche que j'aimerais rendre public par ces quelques pages.

1. LA NOTION DE SYSTÈME

1.1 Le concept

Le concept moderne de système date des années 1940. Il est dû à l'apport au moins de cinq personnages, il se compose de quatre concepts sont fondamentaux pour comprendre ce qu'est un système :

L'interaction (ou l'interrelation) renvoie à l'idée d'une causalité non linéaire. Ce concept est essentiel pour comprendre la coévolution et la symbiose en biologie. Une forme particulière d'interaction est la rétroaction (ou feed-back) dont l'étude est au centre des travaux de la cybernétique.

La totalité (ou la globalité)

Si un système est d'abord un ensemble d'éléments, il ne s'y réduit pas. Selon la formule consacrée, le tout est plus que la somme de ses parties. Von Bertalanffy² montre, contre l'avis de Russell³ qui rejette le concept d'organisme, "qu'on ne peut obtenir le comportement de l'ensemble comme somme de ceux des parties et [qu'on doit] tenir compte des relations entre les divers systèmes secondaires et les systèmes qui les "coiffent" [pour] comprendre le comportement des parties". Cette idée s'éclaire par le phénomène d'émergence : au niveau global, apparaissent des propriétés non déductibles des propriétés élémentaires, ce qu'on peut expliquer par un effet de seuil.

L'organisation

L'organisation est le concept central pour comprendre ce qu'est un système. L'organisation est l'agencement d'une totalité en fonction de la répartition de ses éléments en niveaux hiérarchiques. Selon son degré d'organisation, une totalité n'aura pas les mêmes propriétés. On arrive ainsi à cette idée que les propriétés d'une totalité dépendent moins de la nature et du nombre d'éléments qu'ils contiennent que des relations qui s'instaurent entre eux. On peut donner deux exemples :

- les isomères sont des composés chimiques de même formule et de même masse, mais ayant des agencements structurels différents et, de ce fait, des propriétés différentes.
- les cerveaux humains possèdent tous à peu près le même nombre de neurones, mais ce qui va décider des différentes aptitudes, c'est la nature et le nombre de relations entre eux dans telle ou telle aire. On peut dire que, en s'organisant, une totalité se structure (une structure est donc une totalité organisée).

L'organisation est aussi un processus par lequel de la matière, de l'énergie et de l'information s'assemblent et forment une totalité, ou une structure. Certaines totalités développent une forme d'autonomie ; elles s'organisent de l'intérieur : on parle alors d'auto organisation.

Il existe deux sortes d'organisation : l'organisation en modules, en sous-systèmes (qui renvoie aussi à l'organisation en réseaux) et l'organisation en niveaux hiérarchiques. L'organisation en sous-systèmes procède par intégration de systèmes déjà existants, tandis que l'organisation en niveaux hiérarchiques produit de nouvelles propriétés, à chaque niveau supplémentaire. La notion d'organisation retrouve donc celle d'émergence, dans la mesure où c'est le degré d'organisation d'une totalité qui fait passer d'un niveau hiérarchique à un autre, et fait émerger de nouvelles propriétés. L'émergence est la création d'un niveau hiérarchique supérieur.

De manière générale, on s'aperçoit donc que la notion d'organisation recouvre un aspect structurel (comment est construite la totalité) et un aspect fonctionnel (ce que la structure lui permet de faire). On peut représenter une structure par un organigramme, la fonction par un programme.

La complexité

La complexité d'un système tient au moins à trois facteurs :

- le degré élevé d'organisation ;
- l'incertitude de son environnement ;
- la difficulté, sinon l'impossibilité d'identifier tous les éléments et toutes les relations en jeu. D'où l'idée que les lois qui permettent de décrire ce type de système ne conduisent pas à sa reproduction à l'identique, mais à la détermination d'un comportement global caractérisé par une prédictivité réduite.

1.2 Description d'un système

Sous son aspect structurel, un système comprend quatre composants :

a. Les éléments constitutifs

On peut en évaluer le nombre et la nature (même si ce n'est qu'approximativement). Ces éléments sont plus ou moins homogènes (ex automobile: groupe motopropulseur, châssis, habitacle, liaison au sol, carrosserie). Dans une entreprise commerciale, les éléments sont hétérogènes (capitaux, bâtiments, personnel, ...),

b. Une limite (ou cadre du système)

Une limite qui sépare la totalité des éléments de son environnement : cette limite est toujours plus ou moins perméable et constitue une interface avec le milieu extérieur. C'est par exemple, la membrane d'une cellule, la peau du corps, la carrosserie d'une voiture. La limite d'un système peut être plus floue, ou particulièrement mouvante, comme dans le cas d'un groupe social,

c. Des réseaux de relations

Les éléments sont en effet inter reliés. Nous avons vu que, plus les interrelations sont nombreuses, plus le degré d'organisation est élevé et plus grande est la complexité. Les relations peuvent être de toutes sortes. Les deux principaux types de relations sont : les transports et les communications. En fait, ces deux types peuvent se réduire à un seul, puisque communiquer c'est transporter de l'information, et transporter sert à communiquer (faire circuler) des matériaux, de l'énergie ou de l'information.

d. Des stocks (ou réservoirs)

Des stocks où sont entreposés les matériaux, l'énergie ou l'information constituant les ressources du système qui doit être transmises ou réceptionnées.

1.3 Sous son aspect fonctionnel

- Des flux de matériaux, d'énergie ou d'informations, qui empruntent les réseaux de relations et transitent par les stocks. Ils fonctionnent par entrées/sorties (ou inputs/outputs) avec l'environnement,
- Des centres de décision qui organisent les réseaux de relations, c'est-à-dire coordonnent les flux et gèrent les stocks,
- Des boucles de rétroaction qui servent à informer, à l'entrée des flux, sur leur sortie, de façon à permettre aux centres de décision de connaître plus rapidement l'état général du système,
- Des ajustements réalisés par les centres de décisions en fonction des boucles de rétroaction et de délais de réponse (correspondant au temps que mettent les informations « montantes » pour être traitées et au temps supplémentaire que mettent les informations « descendantes » pour se transformer en actions).

Il existe deux sortes de systèmes : les systèmes ouverts et les systèmes fermés. Comme leur nom l'indique, les systèmes ouverts ont plus d'échanges avec leur environnement, les systèmes fermés jouissent d'une plus grande autonomie (auto organisation). Évidemment, cette distinction n'est pas tranchée : aucun système n'est complètement fermé sur lui-même, ni complètement perméable. Cette distinction a été introduite par la thermodynamique au milieu du XIXe siècle : un système fermé échange uniquement de l'énergie avec son environnement, contrairement à un système ouvert, qui échange énergie, matière et information. La notion de système ouvert s'est considérablement élargie avec les travaux sur le vivant de Cannon⁴ vers 1930 et de Von Bertalanffy dans les années 1940. La notion de système fermé n'est en fait qu'un concept théorique, puisque tout système est plus ou moins ouvert.

1.4 Conservation des systèmes : état constant et homéostasie

La fonction première d'un système est sa propre conservation. Un système doit rester dans un état constant, orienté vers un optimum. Or, une des caractéristiques des systèmes qui « fonctionnent » est qu'ils sont tous dans un état de déséquilibre thermodynamique, dans la mesure où ils ne cessent d'échanger de l'énergie avec leur environnement. Ils se retrouvent donc obligés de se maintenir dans un état constant, caractérisé par une relative stabilité au sein même de laquelle existent des déséquilibres provoqués par les flux d'entrées et de sorties. L'image mécanique pour comprendre cette dynamique interne du système est celle du vélo qui doit avancer pour être en état d'équilibre dynamique.

Un système se retrouvant dans un état d'équilibre en ayant épuisé tous les échanges possibles avec son environnement a atteint le stade de la « mort thermique » (pour reprendre l'expression de Boltzmann⁵). La loi physique montrant que tous les systèmes fermés finissent tôt ou tard de cette façon s'appelle l'entropie (dit aussi 2e principe thermodynamique).

La conservation d'un état constant est aussi une nécessité des systèmes cybernétiques (qu'ils soient organiques ou artificiels) : leur

autorégulation dépend des boucles de rétroaction négatives, qui ont une fonction de contrôle et de stabilisation autour d'une valeur moyenne.

L'homéostasie dans les systèmes vivants désigne la capacité d'un système à se maintenir dans un état constant, dans sa forme et ses conditions internes, en dépit des perturbations externes. Dans le cas des animaux, les conditions internes sont nombreuses et dépendent de sous-systèmes (maintien de la température interne, de la pression artérielle, de la teneur en eau et autres substances vitales, etc.). Le terme d'homéostasie est forgé par le physiologiste Walter Cannon dans les années 1920 ; mais la propriété est découverte dès le milieu du XIXe siècle par Claude Bernard⁶, qui décrit les principes de régulation du milieu interne. Théoriquement, un système parfaitement autorégulé impliquerait de pouvoir revenir à son état initial, suite à une perturbation. Néanmoins, si le monde vivant lutte contre la flèche du temps (tous les êtres vivants créant des boucles de néguentropie provisoires), ils ne reviennent cependant jamais à un état identique, mais évoluent vers un état légèrement différent, qu'ils s'efforcent de rendre aussi proche que possible de leur état initial. C'est pourquoi le système vivant maintient sa forme malgré des échanges avec l'environnement ; c'est également pourquoi sa stabilité n'exclut pas une certaine évolution. En bref, la simple régulation cybernétique pour maintenir un système dans un état constant (comme c'est le cas pour un thermostat) diffère de l'homéostasie qui, malgré son nom, est un processus complexe et autonome d'autorégulation, impliquant un renouvellement des éléments et une réorganisation structurelle autonomes.

1.5 Variété d'un système

La variété d'un système est le nombre de configurations ou d'états que ce système peut revêtir. Cette propriété est nécessaire pour éviter la sclérose. Cela dit, la variété du système ne doit pas excéder les capacités de contrôle de ce système, ce que le cybernéticien R. Ashby a exprimé par la loi dite de la variété requise : « Pour contrôler un système donné, il faut disposer d'un contrôle dont la variété est au moins égale à la variété de ce système ».

1.6 Typologie des systèmes

Il existe plusieurs typologies. Citons-en deux :

La typologie de Jacques Lesourne⁷ (Les systèmes du destin), qui distingue :

- Les systèmes à états (transformations entrées/sorties, sans régulation interne. Ex : un moteur de voiture).
- Les systèmes à buts (régulation interne intégrée, capacité d'atteindre des objectifs. Ex : une chambre avec thermostat, une fusée à tête chercheuse).
- Les systèmes à apprentissage (incluant mémoire, mécanismes de calcul, et capacité de prise de décision et d'adaptation en fonction des données enregistrées et de processus par essais et erreurs. C'est à ce niveau que l'auto organisation devient possible. Ex : systèmes experts en stratégie économique ou militaire).
- Les systèmes à décideurs multiples (structure complexe de plusieurs systèmes à buts, s'organisant de manière spontanée (jeux) ou de façon hiérarchique (organisations). Lorsque les hiérarchies sont enchevêtrées en un système encore plus large et complexe, on parle de sociétés).

La typologie de Jean-Louis Le Moigne⁸, (La théorie du système général), qui sépare :

- Les systèmes machines, qui relèvent de la mécanique et de l'ingénierie.
- Les systèmes vivants (et systèmes artificiels complexes), dans lesquels apparaissent les processus de mémorisation, des centres de décision (ou de commande) et de coordination (ou de pilotage).
- Les systèmes humain et social, avec l'apparition de l'intelligence (ou capacité à traiter des informations symboliques), permettant une auto organisation par des mécanismes abstraits d'apprentissage et d'invention, mais aussi avec la finalisation (l'intentionnalité), réorganisant tout le système en fonction de fins sélectionnées de manière autonome.

A noter qu'un type nouveau de système a émergé dans la deuxième moitié du XXe siècle : les systèmes dynamiques, dans le champ des

recherches scientifiques sur le chaos déterministe. La première idée caractérisant ce champ est que, derrière l'apparent désordre, se cache un ordre plus complexe que l'ordre visible. La deuxième idée est que cet ordre émerge par auto organisation.

2. LA THÉORIE DES SYSTÈMES

La théorie des systèmes est un principe selon lequel tout est système, ou tout peut être conceptualisé selon une logique de système. On parle aujourd'hui plutôt de Théorie systémique.

Ce principe est formalisé en 1968 par Ludwig von Bertalanffy dans General System Theory, mais les bases sont multiples, la principale étant certainement le mouvement cybernétique.

Ces théories ont permis le développement du concept de systémique. Pour plus de clarté nous parlerons d'abord de la théorie des systèmes en général pour en revenir par la suite aux diverses théories systémiques en particulier.

2.1 Le système

Le système fait référence à un assemblage d'éléments fonctionnant de manière unitaire et en interaction permanente.

Sept définitions, ci-dessous, sont en général données suivant le domaine scientifique de l'utilisation d'un système, ceci en tenant compte de l'avis même de von Bertalanffy, que tout ce qui fonctionne ensemble est système :

1. Du point de vue de l'histoire des sciences, un système est une construction théorique que forme l'esprit sur un sujet (ex. une idée expliquant un phénomène physique et représentée par un modèle mathématique).
2. Ensemble de propositions, d'axiomes, de principes et de conclusions qui forment un corps de doctrine ou un tout scientifique (ex. en philosophie : le système d'Aristote, ou en physique : le système newtonien).
3. Ensemble de méthodes, de procédés organisés ou institutionnalisés pour assurer une fonction (ex. système d'éducation, système de production, système de défense).
4. Ensemble d'éléments qui se coordonnent pour concourir à un résultat (ex. système nerveux)
5. Ensemble de divers éléments analogues.
6. Appareillage, dispositif, machine assurant une fonction déterminée (ex. système d'éclairage, système automobile).
7. En terme d'analyse, il s'agit d'un réseau, plus ou moins important et autonome, dont les éléments présentent la particularité de répondre en tout ou en partie à un même objectif.

2.2 Les divers composants de la théorie des systèmes

Nous donnons ici les plus connus et les expliciterons plus en détail dans des chapitres spécifiques.

La logique

- Système formel : Système composé d'un vocabulaire, d'un ensemble d'axiomes et d'un ensemble de règles de déductions.
- Système combinatoire : Système formel ayant pour objet l'étude des problèmes de nature combinatoire. Les mathématiques, algèbre
- Systèmes dynamiques : branche de recherche des mathématiques
- Système d'équations : Ensemble de plusieurs équations devant être satisfaites simultanément:
 - Système d'équations linéaires, algébriques,
 - Système d'équations différentielles.
 - Système de relations : Ensemble de relations qui doivent être satisfaites simultanément.
 - Système de vecteurs : Ensemble composé d'un nombre fini de vecteurs mobiles sur leur ligne d'action.
 - Système d'axe(s) : Système qui définit des coordonnées dans un espace donné. Le passage d'un système d'axe à un autre identique.
 - Système de référence : Système d'axes par rapport auxquels on

définit le mouvement d'un corps dans un espace à trois dimensions.

- Système de numération : L'informatique et robotique
- Système complexe : Ensemble d'agents simples qui, par leur interaction, amènent la structure globale du système à être modifiée de manière chaotique.
- Système d'exploitation : Ensemble structuré et hiérarchisé de programmes et processus regroupés autour d'un programme-maître appelé noyau, qui gère les divers éléments d'un système informatique.
- Système reconfigurable : Système informatique matériel ou logiciel capable de modifier sa structure interne afin d'adapter ses réponses à son environnement.

L'informatique de gestion industrielle distingue 3 niveaux de préoccupations :

1. le système métier qui est l'ensemble des métiers et des processus de l'entreprise et des organisations qui y concourent,
2. le système d'information qui est l'ensemble des objets métier, informations et règles de gestion utilisés ou mis en œuvre par les métiers et les processus d'une entreprise,
3. le système informatique qui est l'ensemble structuré des composants logiciels, matériels et des données, permettant d'automatiser tout ou partie du système d'information.

L'ingénierie

- Système mécatronique : ensemble complexe et structuré de composants mécaniques, électroniques et informatiques en interaction permanente et assurant une fonction d'usage (ex: automobile, aéronef, train, téléphone mobile, lanceur spatial, centrale nucléaire, ...),
- Ingénierie système : démarche rationnelle pour la conception et l'ingénierie d'un système mécatronique en l'étudiant sur tout son cycle de vie (exploitation, maintenance, démantèlement).

L'automatisme et automatique

- Système dynamique : système cybernétique, en général bouclé et modélisé par des équations différentielles, caractérisé par des variables d'état dont on cherche à prévoir les variations dans le temps.
- Théorie des systèmes : recherche des propriétés générales des systèmes (contrôlabilité, stabilité, équivalence, linéarité, etc.) et développement des méthodes pour décrire certains types de systèmes.

La physique

- Système métrique : ensemble coordonné d'unités servant à la mesure des différentes grandeurs.
- Système MKSA : Système de mesure dont les unités fondamentales sont le mètre, le kilogramme, la seconde et l'ampère.
- Système international d'unités (SI): système de mesure officiel en France depuis 1962, qui prolonge le système MKSA par l'adjonction du Kelvin et de la Candela.
- Système d'unités absolues : système d'unités physiques fondé sur l'emploi d'un nombre minimum d'unités fondamentales indépendantes, choisies de façon à réduire à l'unité les coefficients numériques figurant dans certaines formules physiques très importantes, choisies comme fondamentales.
- Système physique : Ensemble d'éléments physiques concrets ou idéalisés (objet, point matériel, fluide, gaz parfait, champ électromagnétique, ...) dont on cherche à connaître la dynamique propre. Appelé simplement système en physique.
- Système de forces : Ensemble d'un nombre fini de forces supposées appliquées à un même corps solide...

L'astronomie

- Système galactique : Système de coordonnées galactiques dans lequel le plan fondamental est un plan choisi une fois pour toutes, aussi proche que possible du plan de symétrie de la Galaxie.

La minéralogie, la chimie, la cristallographie

- Système cristallin : Ensemble de formes géométriques types, caractérisées par leurs propriétés de symétrie fractale ou non, que peut prendre un cristal (Système cubique).
- La politique, l'économie, la finance

- Système économique : les principaux modes d'organisation économiques
- Système politique, par exemple le système communiste : Ensemble des lois et doctrines collectivisant les moyens de production et pratiqué notamment pendant 70 ans en ex-URSS. Système libéral : Ensemble des lois et doctrines qui permettent la liberté des moyens de production et pratiqué dans les économies de marché du monde occidental et asiatique.
- Systèmes financiers

Musique

Ensemble de portées devant être lues simultanément dans une partition de musique.

3. THÉORIE SYSTÉMIQUE

La Théorie systémique regroupe l'ensemble des principes théoriques qui expliquent la systémique.

Origine

L'Abbé Etienne Bonnot de Condillac⁹ (1715-1780) a notamment écrit un ouvrage remarquable intitulé *Traité des Systèmes* (1749). Cet ouvrage dresse tout un cadre de ce qui va devenir l'approche systémique. Ses exemples concernent la science politique.

En 1906 un économiste, Vilfredo Pareto¹⁰ introduisait la notion de théorie systémique dans l'un de ses ouvrages d'économie politique : *Manuel d'économie politique*. Il serait cependant abusif d'en faire le fondateur de cette orientation théorique. On pourrait également se référer à l'article *Système de Vauban*¹¹ dans l'*Encyclopédie de Diderot et d'Alembert*. Mais la théorie systémique ne commence vraiment qu'avec la cybernétique.

Histoire

C'est Norbert Wiener¹², enseignant au MIT qui, en 1948 dans son traité *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, propose pour la première fois d'élever l'idée de la boîte noire au rang de concept instrumental de la modélisation scientifique.

Pour comprendre l'intérêt de cette évolution il faut se rappeler que depuis René Descartes la recherche scientifique est fondée sur le postulat de la causalité : les phénomènes du monde peuvent être expliqués par un enchaînement de causalités. Si un phénomène apparaît d'abord comme trop complexe il suffit de le décomposer en plusieurs enchaînements de causalités. Cette démarche est ce que l'on peut appeler une démarche analytique.

Avec la théorie systémique la démarche est totalement différente. On admet la téléologie comme un postulat opératoire. On va donc représenter ce que l'on ne comprend pas dans un phénomène que l'on cherche à étudier sous l'aspect d'une boîte noire. Cette boîte noire est considérée comme un phénomène actif dont on connaît le comportement mais non le fonctionnement. Dans la mesure où l'on peut connaître les informations entrant dans cette boîte noire et que l'on en connaît les réactions, on peut en déduire un « feed-back informationnel » qui va permettre progressivement de décrire le système de commande de la boîte noire.

3.1 Applications

Cette théorie est apparue progressivement comme une approche très puissante qui a connu diverses applications, en biologie notamment, mais également dans les sciences sociales en économie ou en psychologie avec Gregory Bateson¹³ et ce que l'on a appelé l'École de Palo-Alto.

3.2 Psychologie

Les groupes d'individus tels que la famille et le couple sont alors étudiés comme des systèmes à part entière, régis par des lois qu'il faut dégager.

La pathologie mentale d'un individu est donc résultante d'une anomalie systémique, du système en lui-même. On a pu ainsi parler de familles pathologiques au sujet de la schizophrénie, entité psychopathologique la plus fouillée par les systémistes, notamment au travers de la notion de double contrainte.

La thérapie systémiste s'appuie donc sur le traitement du système tout entier, famille ou couple, mettant au jour les processus morbides

afin de rétablir une situation d'équilibre et de communication non pathologiques.

4. LA SYSTÉMIQUE

La systémique est une méthode scientifique qui applique la théorie systémique. Elle repose sur la logique de système. Grâce à une vision holistique, elle permet de dépasser les limites du cartésianisme classique pour aborder des sujets complexes qui étaient réfractaires à ce dernier.

Elle est issue notamment de la cybernétique. Elle est récente et doit encore stabiliser son axiomatique pour s'établir en tant que science. Elle peut s'apparenter à une science en tant que telle, mais aussi à un langage, à un état d'esprit, tel que celui de la construction des « Liberty Ship », ou à une philosophie.

Elle est un nouveau paradigme qui :

- regroupe des démarches : théoriques, pratiques, méthodologiques,
- pose des problèmes concernant les modes : de l'observation, de représentation, de modélisation, de simulation,
- se donne pour objectifs de préciser la notion de système : ses frontières, ses relations internes et externes, ses structures, ses lois ou propriétés émergentes.

Historique

Le mot systémique est apparu dans la deuxième moitié du xxe siècle et découle de la Théorie des systèmes (ou Théorie systémique) qui est l'une des bases de la systémique, mais non la seule.

L'étude formelle des systèmes est apparue au XIXe siècle avec la naissance de l'industrie. C'est à ce moment-là que furent conceptualisées les notions de régulation et de contrôle, essentielles au fonctionnement sans risques des machines à vapeur.

Dès la fin de ce siècle, l'intégration en science humaine des logiques plus vastes apparaît avec le holisme en sociologie qui est la compréhension de l'individu à travers les logiques sociales et le structuralisme en linguistique, qui analyse du signe linguistique à travers plusieurs composants.

Dans la première moitié du xxe siècle, Ludwig von Bertalanffy théorisa le fonctionnement des systèmes biologiques dans l'ouvrage *Théorie du système général*. Sous l'impulsion de Norbert Wiener, la cybernétique fut créée en tant que théorie de la communication dans les années 1940 et donna naissance à l'électronique, l'informatique ou encore la robotique.

Face aux difficultés rencontrées dans l'application de la cybernétique aux systèmes sociaux, que sont les entreprises ou les organisations en général, Karl E. Weick et P. Checkland¹⁴ jetèrent dans les années 1970 les bases d'une «système de 3e génération», entièrement axée sur les systèmes sociaux.

4.1 La théorie générale des systèmes (Bertalanffy)

Dans ce cadre, le scientifique est amené à explorer divers champs d'application de la théorie – psychologie, sociologie ou histoire – comme autant de niveaux d'organisation.

Le paradigme systémique considère de façon indissociable les éléments des processus évolutifs (qui assemblent les éléments de manière non linéaires ou aléatoire, dans les systèmes dits complexes). La « théorie générale des systèmes » constitue essentiellement un modèle pouvant s'illustrer dans diverses branches du savoir (exemple : théorie de l'évolution).

On peut distinguer trois niveaux d'analyse :

La science des systèmes, consistant à la fois en une étude des systèmes particuliers dans les différentes sciences et une théorie générale des systèmes comme ensemble de principes s'appliquant à tous les systèmes. L'idée essentielle ici est que l'identification et l'analyse des éléments ne suffit pas pour comprendre une totalité (comme un organisme ou une société) ; il faut encore étudier leurs relations. Bertalanffy s'est attaché à mettre en lumière les correspondances et les isomorphismes des systèmes en général : c'est tout l'objet d'une théorie générale des systèmes.

La technologie des systèmes, concernant à la fois les propriétés des matériels et les principes de développement des logiciels. Les problèmes techniques, notamment dans l'organisation et la gestion des phénomènes sociaux globaux (pollutions écologiques, réformes de l'éducation, les régulations monétaires et économiques, relations internationales), constituent des problèmes incluant un grand nombre de variables en interrelation. Des théories « globales » comme la théorie cybernétique, la théorie de l'information, la théorie des jeux et de la décision, la théorie des circuits et des files d'attente, etc., en sont des illustrations. De telles théories ne sont pas « fermées », spécifiques, mais au contraire interdisciplinaires.

La philosophie des systèmes, promouvant le nouveau paradigme systémique, à côté du paradigme analytique et mécaniste de la science classique. La systémique constitue, selon les propres termes de Bertalanffy, « une nouvelle philosophie de la nature », opposée aux lois aveugles du mécanisme, au profit d'une vision du « monde comme une grande organisation ». Une telle philosophie doit par exemple soigneusement distinguer systèmes réels (une galaxie, un chien, une cellule), qui existent indépendamment de l'observateur, systèmes conceptuels (théories logiques, mathématiques), qui sont des constructions symboliques, et systèmes abstraits (les théories expérimentales), comme sous-classe particulière des systèmes conceptuels qui correspondent à la réalité. À noter, à la suite des travaux sur la psychologie de la forme et les déterminismes culturels, que la différence entre systèmes réels et systèmes conceptuels est loin d'être tranchée. Cette ontologie des systèmes ouvre donc sur une épistémologie, réfléchissant sur le statut de l'être connaissant, le rapport observateur/observé, les limites du réductionnisme, etc. L'horizon ultime est alors de comprendre la culture comme un système de valeurs dans lequel l'évolution humaine est enchaînée.

4.2 Le structuralisme

La notion centrale est la structure - étudiée à la fois en linguistique, en anthropologie et en psychologie :

- En linguistique : Ferdinand de Saussure¹⁵ s'inspire de l'analyse économique et introduit le couple conceptuel signifiant/signifié. Ses travaux sont repris par le danois Louis Hjelmslev¹⁶ et le russe Jakobson¹⁷ : Hjelmslev présente le langage comme la double implication de deux structures indépendantes, expression et contenu. Enfin, Noam Chomsky¹⁸, chercheur au Massachusetts Institute of Technology, dégage une grammaire générative, ensemble de règles linguistiques universelles, au fondement de toute langue possible. Il ouvre la voie aux sciences cognitives.

- En anthropologie : Claude Lévi-Strauss¹⁹ pose le primat des structures intellectuelles sur le développement social et adopte un point de vue synchronique, étudiant les sociétés dites primitives à la lumière des structures dégagées, réduisant ainsi le rôle de l'histoire.

Il cherche les invariants capables d'expliquer l'équilibre social.

- En psychologie : c'est la Gestalttheorie de l'école allemande (travaux sur la psychologie de la forme dans le domaine des perceptions) ; puis Jean Piaget²⁰, qui s'intéresse au développement de l'intelligence chez l'enfant. L'intelligence est décrite, à travers une série de stades de développement, comme la capacité de construire en permanence des structures, qui s'établissent par autorégulation.

4.3 La cybernétique

La cybernétique est devenue, dans un sens dérivé, l'art de gouverner les hommes (André Marie Ampère²¹, Essai sur la philosophie des sciences ou Exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines 1834).

La cybernétique moderne désigne depuis l'ouvrage *Cybernetics : or Control and Communication in the Animal and the Machine* du mathématicien Norbert Wiener paru en 1948, la science générale de la régulation et des communications dans les systèmes naturels et artificiels.

La tâche du cybernéticien consiste :

- à reconnaître la structure et l'état interne de la machine ou de l'animal ;
- à décrire les relations qu'elle entretient avec son environnement ;
- à prévoir son comportement et son évolution dans le temps.

Pour se représenter le fonctionnement d'une machine ou d'un animal, plusieurs concepts s'avèrent utiles :

- les effecteurs (ou capteurs), servant à percevoir les modifications de l'environnement ;
- les effecteurs, moyens d'action sur l'environnement ;
- la boîte noire, élément structurel, dont le fonctionnement interne est ignoré et qui n'est considéré que sous l'aspect de ses entrées et de ses sorties ;
- les boucles de rétroactions (ou feed-back) : on constate une boucle de rétroaction lorsque la grandeur de sortie d'une boîte noire réagit sur la grandeur d'entrée, selon un processus de bouclage. Dans ce dernier cas, on n'a plus seulement affaire à une simple relation de cause à effet, mais à une causalité non linéaire, plus complexe, où l'effet rétroagit sur la cause. Il existe deux sortes de feed-back : le feed-back positif (amplificateur) et le feed-back négatif (compensateur).

La cybernétique a permis de faire émerger les bases scientifiques d'une analyse rigoureuse des concepts d'organisation et de commande.

La première cybernétique s'établit dans le cadre des conférences Macy qui réunissent entre 1942 et 1953 un groupe interdisciplinaire de mathématiciens, logiciens, anthropologues, psychologues et économistes qui s'étaient donné pour objectif d'édifier une science générale du fonctionnement de l'esprit. Parmi les participants les plus illustres, on trouve le neurophysiologiste Arturo Rosenblueth²², les mathématiciens John von Neumann²³ et Norbert Wiener, l'ingénieur Julian Bigelow²⁴ le neurophysiologiste Warren McCulloch²⁵, le logicien Walter Pitts²⁶, le psychanalyste Lawrence Kubie²⁷ et les anthropologues Gregory Bateson et Margaret Mead²⁸. Ce qui rapproche les différents participants est leur intérêt commun pour les mécanismes de causalité circulaire (notamment le concept de feedback) qu'ils étudient dans leurs disciplines respectives.

Suite à la première conférence de 1942, sont publiés en 1943 les deux articles fondateurs de la cybernétique : « Behavior, Purpose and Teleology » dans lequel Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener et Julian Bigelow étudient les modèles d'organisation sous-jacents aux comportements finalisés et « A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity » dans lequel Warren McCulloch et Walter Pitts étudient les modèles d'organisation sous-jacents à la perception.

En 1947 Wiener est invité à un congrès d'analyse harmonique à Nancy, organisé par Szolem Mandelbrojt²⁹, l'oncle du célèbre mathématicien Benoît Mandelbrot. Lors de ce congrès, auquel participe notamment Louis Couffignal³⁰, on lui propose d'écrire une caractérisation unifiée du mouvement brownien (processus stochastique aussi appelé « processus de Wiener »). Il décide à son retour d'introduire le néologisme Cybernétique dans sa théorisation scientifique. Il définit la cybernétique comme une science qui étudie exclusivement les communications et leurs régulations dans les systèmes naturels et artificiels.

À partir de 1949, un autre groupe interdisciplinaire, le Ratio Club, commence une série de rencontres informelles pour discuter de sujets ayant trait à la cybernétique. On compte parmi eux William Ross Ashby³¹, William Grey Walter³² et Alan Turing³³.

À partir de 1950, le mot cybernétique est inclus dans le titre des conférences Macy. La même année, Wiener popularise les implications sociales de la cybernétique, en figurant l'analogie entre les systèmes automatiques et les institutions humaines dans son best-seller *Cybernétique et société* sous-titré *De l'usage humain des êtres humains*.

La nouvelle approche des systèmes se développe aux États-Unis pour répondre à des problèmes divers : mise au point d'instruments de guidage des missiles, modélisation du cerveau humain et du comportement, stratégie des grandes entreprises

4.4 La théorie de l'information

La théorie de l'information schématise la communication ainsi : toute information est un message envoyé par un émetteur à un récepteur en fonction d'un code déterminé. Shannon³⁴ choisit, pour théoriser l'information, de faire abstraction de la signification des messages. C'est un point de vue de théoricien, mais aussi de l'ingénieur : le contenu du message n'a pas en soi d'incidence sur les moyens de le transporter. Seule compte une quantité d'information à transmettre, mesurable selon la théorie de Shannon (et qui ne correspond pas à ce

que nous entendons dans le langage courant par "quantité d'information"). L'objectif de Shannon, ingénieur à la compagnie téléphonique (BELL), était d'utiliser le plus efficacement possible les canaux de transmission.

La théorie de l'information de Claude Shannon regroupe les lois mathématiques concernant le transfert de signaux dans des canaux matériels dotés d'un rapport signal/bruit. Cette théorie est applicable à la transmission des signaux artificiels aussi bien qu'à la linguistique ou au système nerveux. Le problème de son application aux langues vernaculaires est qu'elle se fait au détriment du sens et du contexte culturel.

Elle conduit aussi à des paradoxes : Médor est un chien contient moins de bits d'information au sens technique que Médor est un quadrupède, et véhicule pourtant bien plus d'information sémantique, puisque tous les chiens sont des quadrupèdes (alors que tous les quadrupèdes ne sont pas des chiens).

5. OUTILS ET DOMAINES D'APPLICATION DE LA THÉORIE SYSTÉMIQUE

Les deux systématiques

On distingue couramment deux systématiques (en fait deux apports successifs à l'approche systématique) :

La première systématique (née du structuralisme, de la cybernétique, de la théorie de l'information et de l'analyse des systèmes de Bertalanffy) apparaît dans les années 1950 ; elle est centrée sur les concepts de structure, d'information, de régulation, de totalité et d'organisation. Le concept essentiel est sans doute ici celui de régulation, tel qu'il est défini à travers la notion de boucle de rétroaction.

La deuxième systématique naît dans les années 1970 et 1980, elle intègre deux autres concepts essentiels : la communication et l'auto organisation (ou autonomie). À la base du concept d'auto organisation, on trouve celui de système ouvert développé par Bertalanffy : un système ouvert est un système qui, à travers ses échanges de matière, d'énergie et d'information, manifeste la capacité de s'auto organiser. La propriété d'auto organisation existe déjà dans le monde physique, comme l'a montré Prigogine avec les structures dissipatives (d'énergie). Si l'auto organisation respecte bien le second principe de la thermodynamique (dans la mesure où elle ne concerne que les systèmes ouverts, capables de créer des boucles de néguentropie, donc essentiellement les êtres vivants, mais aussi les systèmes organisationnels et sociaux), en revanche elle contredit les lois déterministes, qui ne s'appliquent complètement qu'aux systèmes physiques ou chimiques.

5.1 Les outils systématiques

Le raisonnement analogique : si l'on dépasse la simple idée mathématique d'égalité de rapports, de proportion, l'analogie est le type de raisonnement qui permet de rapprocher des domaines différents. Tenue en suspicion dans la connaissance, elle jouit d'un regain de faveur en partie grâce à la systématique. Les principales formes d'analogie sont :

- La métaphore. est une pratique du langage qui consiste à utiliser dans un contexte B un terme antérieurement usité dans un contexte A plus ancien ou différent.
- L'isomorphisme : analogie entre deux objets présentant des similitudes structurelles.
- Le modèle : élaboration d'un cadre théorique, qu'on peut en général schématiser, permettant de décrire et de représenter théoriquement un ensemble de faits. Un modèle peut être constitué à partir d'une métaphore. Ex : Lavoisier, comparant le cœur à un moteur, offre un modèle mécanique de la circulation sanguine.

L'analogie paraît peu fiable au niveau disciplinaire et analytique. En revanche, au niveau interdisciplinaire, elle peut se révéler féconde.

Ainsi, elle permet de transposer des notions pertinentes pour un domaine, dans d'autres domaines où elles ne le sont pas moins :

- dans la théorie cinétique des gaz, Boltzmann s'inspire des lois statistiques de comportement de populations humaines.
- à partir des années 1950, on utilise le concept d'information en matière génétique.

Les techniques d'aide à la décision (en matière stratégique). Elles viennent de la discipline appelée recherche opérationnelle, consis-

tant dans l'application des méthodes scientifiques d'analyse et des techniques de calcul à l'organisation des opérations humaines. Elle fournit des outils dans trois domaines : la combinatoire, l'aléatoire et la concurrence.

- La combinatoire : elle intervient quand il faut combiner, dans le processus de décision, un nombre trop important de paramètres.

Ce domaine utilise deux méthodes : l'algorithme, prescription détaillée des opérations à réaliser pour obtenir avec certitude la solution du problème posé ; et la programmation linéaire, cherchant à déterminer les valeurs de variables ou d'activités, en fonction des ressources disponibles, et en vue d'un résultat optimum.

- L'aléatoire : lorsqu'on a affaire à des situations au dénouement incertain, où la détermination de valeurs précises n'est pas possible, on a recours aux probabilités et aux moyennes.

• La concurrence : bien souvent, les contraintes tiennent autant à la complexité des paramètres du domaine considéré qu'au nécessaire prise en compte des décisions de partenaires ou d'adversaires. Cet aspect du processus de décision a été analysé par la théorie mathématique des jeux et du comportement économique, née en 1944 d'un ouvrage de John von Neumann et Oskar Morgenstern³⁵ :

Théorie des jeux et des comportements économiques. La théorie des jeux s'applique aux situations de concurrence, que ce soit en matière politique, militaire ou économique. Dans de telles situations, deux stratégies sont possibles : la coopération et la lutte, et il existe trois classes de jeux, relevant de stratégies différentes :

Les jeux de coopération pure, où l'on additionne les préférences individuelles pour obtenir l'utilité collective.

Les jeux de lutte pure, dont le paradigme est le duel, où seules comptent des préférences individuelles antagonistes : il n'y a pas d'utilité collective possible, une préférence individuelle doit l'emporter sur les autres. Dans ce cadre, on cherche à anticiper le comportement des adversaires :

- premièrement en délaissant leurs intentions, subjectives et par définition inaccessibles ;
- deuxièmement en supposant leur comportement rationnel (recherche du maximum de gains pour le minimum de pertes).

Les jeux mixtes, où il faut prendre en compte la rationalité des divers joueurs, mais aussi l'utilité collective : des procédures de marchandage, de négociation ou d'arbitrage sont alors utilisées.

• Les représentations graphiques : les travaux en systématique ont recours fréquemment à des graphiques pour communiquer des ensembles de données qu'il serait fastidieux et contre-intuitif de présenter de manière linéaire, discursive. Trois sortes de représentations graphiques :

- Le diagramme : représentation graphique des relations entre plusieurs ensembles. Ex : soit l'histogramme représentant le pourcentage d'enfants en échec scolaire selon les différentes catégories socioprofessionnelles. En abscisses, on a les différentes catégories socioprofessionnelles, en ordonnées, le pourcentage des enfants en échec scolaire, chaque rectangle représentant le rapport entre deux paramètres (une catégorie et un pourcentage) des deux ensembles considérés ;
- La carte (plans) : c'est la représentation en deux dimensions d'un objet en trois dimensions (un lieu, la formation géologique d'un sous-sol, une machine, un édifice, etc.). L'exemple le plus connu est évidemment la carte géographique, dont les deux dimensions représentent la surface plane d'un site, en fonction d'une échelle donnée, la hauteur étant restituée grâce à des courbes de niveau ;
- Le réseau : c'est le graphique des relations entre les éléments d'un même ensemble (arbre généalogique, organigramme d'une société, programme d'ordinateur, réseau routier, etc.).

5.2 La modélisation systématique

La modélisation systématique : au sens scientifique le plus général, le modèle désigne la transcription abstraite d'une réalité concrète. Les modèles sont nés des maquettes et des schémas. Aujourd'hui, les modèles cybernétiques (servant à étudier les conditions de régulation d'un système dans les sciences de l'ingénieur ou dans les sciences du vivant) et les modèles informatiques sont les plus répandus en sciences. Le langage graphique est le langage par excellence de la modélisation systématique.

Les domaines d'application

- les sciences de la nature : la sciences de la vie et de la Terre, l'écologie,
- les échanges économiques et l'entreprise : l'économie, le management, la bureautique,
- la méthode sociologique : la typologie des organisations, les sciences sociales, les sciences politiques,
- les recherches sur le comportement humain : les sciences cognitives, la psychologie, les thérapies de groupe, la pédagogie, la linguistique,
- la stratégie militaire,
- les recherches en ingénierie : l'informatique, l'automatisation (robotique), l'intelligence artificielle et les réseaux de communications.

6 PLACE DE LA SYSTÉMIQUE DANS LA SCIENCE

6.1 Systémique et psychothérapie

La systémique a aussi été féconde dans le domaine de la psychologie clinique, et plus particulièrement de la thérapie familiale. Ainsi, Paul Watzlawick³⁶, psychologue, psychothérapeute et psychanalyste américain, fonda dans les années 1960 les thérapies systémiques familiales. C'est une thérapie brève, par opposition aux thérapies de type psychanalytique et psychothérapie de longue durée ou de fidélisation.

Elle s'est développée au sein de l'école de Palo Alto. Elle consiste dans une approche globale du problème vécu par le patient, considérant que le symptôme que celui-ci présente est le résultat d'un dysfonctionnement de l'ensemble de l'environnement dont il fait partie intégrante. Selon les systémiciens, il n'y aurait pas de fou, mais seulement des relations folles. Autrement dit, tout comportement est adapté en interaction avec autrui, enchevêtré dans un réseau relationnel.

Par exemple, considérant un alcoolique, cette approche thérapeutique va traiter l'ensemble du système relationnel de la personne, de sorte qu'elle n'ait plus l'éventuel rôle de bouc émissaire dans lequel elle a pu être placée. L'alcoolique n'est pas alcoolique par nature, il adopte un comportement alcoolique pour se conformer aux attentes communiquées. Le thérapeute ne va pas rechercher à retracer la genèse du problème, mais comment agir pour qu'il cesse le plus rapidement possible.

La théorie des jeux psychiques développée par l'analyse transactionnelle s'inspire aussi, dans une moindre mesure de la systémique. Elle montre que dans une communication défaillante ou une relation pathogène, chaque acteur adapte son comportement à celui de l'autre selon un scénario prédéfini afin de maintenir l'ensemble des acteurs dans leurs états (pathogènes ou non) respectifs.

6.2 Axiomatique

Dans son ouvrage "Systémique : vie et mort de la civilisation occidentale" paru en 2002, Jean-Pierre Algoud³⁷ propose un paradigme systémique comme base de réflexion, organisée autour de 7 axiomes fondateurs à la démarche systémique :

- axiome 1 : "Reconstruire le système dans sa totalité" par un remembrement et un rassemblement des savoirs nécessaires à la compréhension de l'objet étudié,
- axiome 2 : "Refondre l'apprentissage individuel des connaissances" par le développement de la polyvalence et le décloisonnement des savoirs pour une réinsertion totale de l'Homme dans l'Univers dont il est partie prenante,
- axiome 3 : "Réintégrer l'Homme dans l'Univers" par la suppression de l'opposition entre sciences exactes (i.e. les « sciences dures ») et sciences humaines (i.e. les « sciences douces ») pour une unification du tandem sujet/objet,
- axiome 4 : "Savoir énumérer les critères d'identification d'un système" afin d'éviter le flou sur l'objet étudié et formalisé par la théorie scientifique associée,
- axiome 5 : "Maîtriser l'évolution de l'objet par la Dynamique des Systèmes" dans un cadre heuristique où le moteur de l'évolution est l'énergie,
- axiome 6 : "Pilote le système naturel ou artificiel à l'aide de théories systémiques à caractère prédictif" dans le cadre des limites de l'évolution naturelle possibles de l'Univers,

- axiome 7 : "Penser la Partie comme une réduction du Tout".

6.3 Systémique et cybernétique

La systémique fut influencée par le mouvement cybernétique. Mais une lecture attentive de la première version, en français, de la Théorie générale des systèmes, montre que Bertalanffy revendique avec raison l'antériorité de sa théorie par rapport à la cybernétique.

Ceci dit la cybernétique est peut être la branche la plus féconde et la plus connue de la systémique, c'est la raison qui m'a amené à la développer plus en détail que les autres branches apparentées.

Professeur de mathématiques au Massachusetts Institute of Technology depuis 1919, Norbert Wiener a collaboré avec Rosenblueth du "Harvard Medical School" et s'adjoint en 1940 l'ingénieur J. H. Bigelow. Après avoir travaillé au développement d'appareils de pointage automatique pour canons anti-aériens, ils en arrivent à la conclusion que: "pour contrôler une action finalisée (orientée vers un but), la circulation de l'information nécessaire à ce contrôle doit former une boucle fermée permettant d'évaluer les effets de ses actions et de s'adapter à une conduite future grâce aux performances passées" (Joël de Rosnay³⁸, "Le macroscopie", p. 89, Seuil, Paris, 1975). C'est la découverte de la boucle de rétroaction négative ou positive applicable sur les machines et, selon Rosenblueth, sur les organismes vivants. C'est la naissance de ce que Wiener appellera la cybernétique (Wiener, 1947) qui aura pour but principal l'étude des régulations chez les organismes vivants et les machines construites par l'homme.

Peu à peu, les recherches foisonnent sur le sujet. Des équipes interdisciplinaires se forment et tentent de généraliser ces principes à différents secteurs tels la sociologie, les sciences politiques ou la psychiatrie. Les travaux se multiplient et "la nécessité de faire exécuter par des machines certaines fonctions propres aux organismes vivants, contribue, en retour, à accélérer les progrès des connaissances sur les mécanismes cérébraux" (de Rosnay, op. cit., p. 91, 1975). C'est la naissance de la bionique et le début des recherches sur l'intelligence artificielle avec comme chef de file Warren McCulloch. On est en 1959.

Le modèle de croissance individuelle publié par von Bertalanffy en 1934 est largement utilisé dans les modèles biologiques et existe dans un certain nombre de variantes. Une version plus générale a été proposée par F. J. Richards³⁹ en 1959. Le modèle de croissance est une équation différentielle dans la tradition plus récente des modèles démographiques, également employés pour modéliser le surplus de production (biomasses plutôt que nombre d'individus ou taille des individus).

7 CYBERNÉTIQUE

La cybernétique est une modélisation de l'échange, par l'étude de l'information et des principes d'interaction. Elle peut ainsi être définie comme la science des systèmes autorégulés, qui ne s'intéresse pas aux composantes, mais à leurs interactions, où seul est pris en compte leur comportement global.

Le terme cybernétique sera plus tard désigné comme « la science des analogies maîtrisées entre organismes et machines ».

Le mouvement dont il est issu fut dès son origine largement interdisciplinaire et eut une influence considérable sur des domaines aussi variés que les sciences cognitives, l'intelligence artificielle, la modélisation économique, le constructivisme radical ou encore certains domaines de la psychologie au travers d'un autre mouvement proche, celui de l'École de Palo-Alto.

Aujourd'hui, on définit la cybernétique comme « la science constituée par l'ensemble des théories sur les processus de commande et de communication et leur régulation chez l'être vivant, dans les machines et dans les systèmes sociologiques et économiques ». Elle a pour objet principal l'étude des interactions entre « systèmes gouvernants » (ou systèmes de contrôle) et « systèmes gouvernés » (ou systèmes opérationnels), régis par des processus de rétroaction ou feed-back.

Étymologie du mot Cybernétique

Représentation du gouvernail sur un bateau romain datant du premier siècle.

Platon utilisait κυβερνήτικη (grec, κυβερνητική) pour désigner le pilotage d'un navire. Les mots gouverne, gouvernail et gouvernement ou gouverneur partagent cette racine avec le mot cybernétique.

En 1834, André-Marie Ampère parle de cybernétique pour désigner l'art de gouverner les hommes. Il s'agit ici d'une utilisation politique de la même base étymologique, dont Norbert Wiener déclarera ne pas avoir eu connaissance lorsqu'il a utilisé le terme cybernétique pour la première fois en 1947. Wiener déclare avoir fait dériver le mot cybernétique « du mot grec kubernetes, ou pilote, le même mot grec dont nous faisons en fin de compte notre mot gouverneur ».

7.1 Le premier mouvement cybernétique

Les principes

L'utilisation des logiques qui seront décrites par la cybernétique ne peut être datée puisque l'on peut déjà la voir dans des mécanismes antiques.

Des précurseurs emblématiques de celle-ci sont le régulateur à boules de James Watt 1788, qui a été l'un des premiers mécanismes de rétroaction utilisé dans le domaine industriel, et le servomoteur pour les machines à vapeur créée par de Joseph Farcot en 1859 (appliqué au mécanisme de gouvernail des navires).

Les théories

La thermodynamique, souvent citée en référence par Wiener, est probablement la science préexistante qui s'apparente le plus à la cybernétique. On citera en particulier Rudolf Clausius⁴⁰ qui développe le concept d'entropie de 1850 à 1865. En 1894, Ludwig Boltzmann⁴¹ fait le lien entre l'entropie et l'information en remarquant que l'entropie est liée à de l'information manquante.

Représentation de la thermorégulation chez les mammifères

La pensée atomiste, fille du structuralisme, va aussi faire son chemin dans le domaine des sciences et contribuer aux progrès de schématisation (réduction) de la diversité du monde à la combinatoire d'éléments simples, plus faciles à appréhender par les systèmes informatiques. On peut citer parmi les travaux importants le théorème d'incomplétude de Kurt Gödel (1931) et les travaux sur la Machine de Turing d'Alan Turing (1936).

La physiologie lui a également apporté de nombreux éléments, notamment le principe d'homéostasie mis en place par Walter Cannon en 1932, et qui est une base directe des réflexions préliminaire à la cybernétique.

La cybernétique est aussi une suite de la phénoménologie, dans ce sens qu'elle ausculte les phénomènes pour en saisir l'autonomie et la particularité, notamment par la forme pour ensuite passer à un autre type d'analyse : modélisation, mécanique...

Dès 1938, la thèse de Louis Couffignal L'analyse mécanique, application aux machines à calculer et à la mécanique céleste, et plus tard son étude des systèmes nerveux avec Louis Lapique⁴³, dénotent un développement en parallèle des principes de la future cybernétique.

Exemple de représentation du feed-back en cybernétique

La cybernétique décrite par Norbert Wiener est un moyen d'expliquer et de comprendre tous les mécanismes rencontrés avec quelques briques logiques simples :

La boîte noire : un élément relié à d'autres, dont on ne s'occupe pas de savoir ce qu'il contient (ou son fonctionnement d'après sa structure interne, inaccessible de façon momentanée ou définitive), mais dont on déduit la fonction apparente à partir de ce qu'il envoie ou reçoit.

L'émetteur, qui agit sur l'environnement, donc envoie de l'information, sorte de porte de sortie.

Le récepteur, qui en intègre depuis l'environnement, donc capte les informations, comme une porte d'entrée de la boîte noire.

Le flux d'information : ce qui est transmis, donc envoyé et effectivement reçu, autrement dit l'information efficace.

La rétroaction (feedback) : C'est l'information en retour de l'état.

Le feedback est mis en évidence par cette approche car il est indispensable pour concevoir une logique fonctionnelle. On voit donc apparaître des boucles de rétroaction ou mécanismes circulaires ou plus simplement des systèmes. Si ces systèmes sont mis en évidence par la cybernétique (parfois dite du premier ordre), ils ne le sont que par voie de conséquence d'une étude strictement limitée aux échanges d'information et à l'évolution de ces échanges dans le temps.

Portés par les participants du mouvement cybernétique, pour la plupart des auteurs majeurs dans leur discipline, les concepts de la cybernétique se diffusent rapidement. La cybernétique marque le moment d'une rupture épistémologique majeure qui a profondément influencé tous les domaines de la science et ses retombées sont innombrables.

7.2 Le deuxième mouvement cybernétique

Marvin Minsky⁴⁴ présente la première cybernétique comme un tronc commun qui se serait divisé en trois branches: la « simulation cognitive » à la Allen Newell⁴⁵ et Herbert Simon, l'« intelligence artificielle » et la « seconde cybernétique » ou théorie des systèmes auto-organiseurs.

Alors que la première cybernétique étudie comment les systèmes maintiennent l'homéostasie (morphostase) par des mécanismes d'autorégulation, la « deuxième cybernétique » du psychiatre William Ross Ashby et des biologistes Humberto Maturana⁴⁶ et Francisco Varela⁴⁷ étudie comment les systèmes évoluent et créent des nouvelles structures (morphogenèse). Ashby parle d'auto organisation, Varela d'autopoïèse. Cette étude des systèmes éloignés de leur point d'équilibre se rapproche des travaux sur les structures dissipatives du prix Nobel de chimie Ilya Prigogine⁴⁸. Au lieu de se demander comment se maintient un certain équilibre, on observe comment un nouvel équilibre peut émerger d'une situation de déséquilibre. Prigogine a montré que contrairement à ce que l'on croyait, dans certaines conditions, en s'éloignant de son point d'équilibre, le système ne va pas vers sa mort ou son éclatement mais vers la création d'un nouvel ordre, d'un nouvel état d'équilibre. Les situations extrêmes recèlent la possibilité de créer une nouvelle structure. On voit ici la possibilité de recréer du vivant, de l'organisé là où il n'y avait plus que du chaos.

Dans la cybernétique de deuxième ordre, qui prend forme avec Heinz von Foerster⁴⁹ à partir de 1950-1953 avec les dernières conférences Macy, l'observateur s'inclut lui-même dans le système observé. Comme le rappelle von Foerster, « pour écrire une théorie du cerveau, il faut un cerveau ». En ce sens, cette conception de la cybernétique est une composante importante du constructivisme radical. Cette cybernétique de deuxième ordre vise à l'élaboration d'une méthode de description « universelle » commune aux différents champs de la science. Foerster précise que « L'effort d'unification entrepris par les cybernéticiens ne se situe pas au niveau des solutions, mais à celui des problèmes. Certaines classes de problèmes, définies par une même structure logique, traversent les disciplines les plus variées. La cybernétique s'est édifiée autour de deux de ces classes : les problèmes de communication, et les problèmes posés par l'étude des mécanismes qui produisent eux-mêmes leur unité (self-integrating mechanisms) ». Pour William Ross Ashby, « la cybernétique se situe comme une approche indépendante de la nature des éléments qu'elle étudie ».

Exemple de représentation de l'évolution de la stabilité d'un système

L'implication de la cybernétique dans la systémique est historiquement plus liée au "deuxième mouvement cybernétique". En effet, si selon Norbert Wiener la cybernétique étudie exclusivement les échanges d'information (car c'est « ce qui dirige » les logiques des éléments communicants d'où le mot cybernétique), dans son évolution qui engendrera la systémique, on réintègre les caractéristiques des composantes du système, et on reconsidère les échanges d'énergie et de matière indépendamment des échanges d'information.

Pourtant, au delà des querelles d'école entre la cybernétique et la systémique issue des travaux de Ludwig von Bertalanffy, on peut, à la suite de Gregory Bateson, considérer ces deux mouvements de pensée comme faisant partie d'un ensemble d'idées relativement unifié.

Ainsi, avec l'assimilation des théories cybernétiques par la systémique, on a été amené à comprendre les mécanismes d'autorégulation des systèmes comme des processus de feedback négatif visant à empêcher une déviation. Les systèmes cybernétiques visent à maintenir un état stable viable d'interaction au sein d'environnements changeants via un processus stochastique d'essais et erreurs.

La loi de la variété indispensable : un principe qui montre que la régulation au sens strict d'un système réclame un système de contrôle dont la complexité doit être égale ou supérieure à celle du système à gérer.

7.3 Champs d'application

La multiplicité, la diversité et l'importance des développements de la connaissance consécutifs à la Cybernétique et de la Systémique sont inestimables aujourd'hui, établissant une des plus grandes avancées de la pensée scientifique au XXe siècle, dont la trace se trouve désormais liée aux termes de "révolution cybernétique" et à la fortune universelle du préfixe Cyber. Ne sont cités ici que les développements directement consécutifs au mouvement cybernétique :

- Intelligence artificielle - web: internet
- Systémique
- Constructivisme radical
- Sciences humaines: psychologie (École de Palo-Alto), psychanalyse (notamment Jacques Lacan), management, économie. Il existe des méthodes d'application aux systèmes sociaux, qui se sont surtout développées dans les pays anglo-saxons. Parmi les théoriciens on peut citer Karl E. Weick ou Peter Checkland.
- Ingénierie
- Histoire du cerveau
- La Neurophysiologie et la neurobiologie (recherche sur le fonctionnement des structures cérébrales) a construit des modèles ayant pour référentiel le cerveau de l'homme et a utilisé le mot cybernétique bien avant qu'il ne soit employé par l'industrie informatique, cette dernière cherchant à reproduire dans les ordinateurs certains processus cérébraux humains.
- Robotique : William Grey Walter, le premier à construire une machine autonome pour étudier les comportements animaux, fut également un cybernéticien.
- Imagination
- Sociologie : La systémique sociale Jean-Claude Lugan 50.

8 DÉFINITIONS

a Homéostasie

L'homéostasie est la capacité que peut avoir un système quelconque à conserver son équilibre de fonctionnement en dépit des contraintes qui lui sont extérieures. Selon Claude Bernard, « l'homéostasie est l'équilibre dynamique qui nous maintient en vie. »

La notion est apparue en biologie, relativement à l'équilibre chimique des organismes vivants, mais s'est révélée utile à la définition de toutes formes d'organismes en sociologie, en politique et plus généralement dans les sciences des systèmes.

L'homéostasie d'un organisme cellulaire dont le liquide interstitiel est formé d'atomes est sa capacité autorégulée à conserver un fonctionnement satisfaisant et un équilibre entre le compartiment intracellulaire et le compartiment extracellulaire (le milieu intérieur, c'est à dire intérieur à l'organisme mais extérieur aux cellules) séparés par la membrane cellulaire, malgré une contrainte extérieure. Elle nécessite une source d'énergie extérieure.

« L'homéostasie se définit comme la capacité de l'organisme de maintenir un état de stabilité relative des différentes composantes de son milieu interne et ce, malgré les variations constantes de l'environnement externe. »

Plus simplement, l'homéostasie est donc l'équilibre interne de l'organisme.

b Entropie

En thermodynamique, l'entropie est une fonction d'état introduite en 1865 [1] par Rudolf Clausius dans le cadre du second principe, d'après les travaux de Carnot. Clausius a montré que le rapport $\frac{Q}{T}$ (où Q est la quantité de chaleur échangée par un système à la température T) correspond, en thermodynamique classique, à la variation d'une fonction d'état qu'il a appelée entropie, S et dont l'unité est le joule par kelvin (J/K).

La thermodynamique statistique a ensuite fourni un nouvel éclairage à cette grandeur physique abstraite : elle mesure le degré de désordre d'un système au niveau microscopique. Plus l'entropie du système est élevée, moins ses éléments sont ordonnés, liés entre eux, capables de produire des effets mécaniques, et plus grande est la part de l'énergie inutilisée pour l'obtention d'un travail; c'est à dire gaspillée de façon

incohérente. Boltzmann a exprimé l'entropie statistique en fonction du nombre d'états microscopiques Ω définissant l'état d'équilibre d'un système donné au niveau macroscopique : formule de Boltzmann $S = k \cdot \ln(\Omega)$.

Cette nouvelle définition de l'entropie n'est pas contradictoire avec celle de Clausius. Les deux expressions de l'entropie résultent simplement de deux points de vue différents, selon que l'on considère le système thermodynamique au niveau macroscopique ou au niveau microscopique.

Dans une période récente le concept entropie a été généralisé et a pénétré dans de nombreux domaines, tels que par exemple :

- l'entropie de Shannon dans le cadre de la théorie de l'information en informatique ;
- l'entropie topologique, ainsi que l'entropie métrique de Kolmogorov-Sinaï, dans le cadre de la théorie des systèmes dynamiques en mathématiques.

c « feed-back informationnel »

La boucle rétroactive. Emprunté au vocabulaire de la cybernétique, le mot « feed-back » signifie une information récurrente.

Modèle de régulation (Cf. régulation) caractérisée par un processus circulaire ou par des chaînes causales circulaires ; ou forme de régulation par laquelle une partie des produits d'une machine ou d'un système ("extrant" ou "output") est renvoyée à l'entrée comme information pour l'intrant ("input" ou ce qui entre dans le système), ceci afin de stabiliser et de diriger l'action du système.

L'extrant va, en quelque sorte, "informer les décideurs de ce qui se passe en aval et donc leur permettre de prendre leurs décisions en connaissance de cause"

Exemple de schéma de rétroaction

Le concept de rétroaction (ou feed-back) est d'origine biologique. Il est introduit dans la science vers les années 30, grâce aux travaux théoriques de Cannon (biologiste américain) sur l'homéostasie (Cf. homéostasie). Il sera développé par Norbert Wiener, inventeur de la cybernétique (Cf. cybernétique). Et c'est par cette porte qu'il fera sa véritable entrée dans l'étude des systèmes. La rétroaction est à l'origine un mécanisme propre au dispositif de contrôle d'une machine. Le processus de rétroaction tel que développé par Wiener et un mécanisme qui contrôle les opérations de fonctionnement d'une machine. Il est avant tout un processus de pilotage. Il émerge d'abord dans le domaine de l'aviation avant de s'étendre aux autres domaines (automobile, etc.).

Une vulgate scientifique a condamné la généralisation du phénomène de rétroaction dans les domaines vivant et social. Pourtant, les études approfondies sur les organismes vivants montrent que les mécanismes de rétroaction comparables aux servomécanismes de la technologie existent chez l'animal et le corps humain. Leur rôle est de régulariser les actions de l'organisme. (Cf. Von Bertalanffy, op.cit., p.42).

En l'occurrence, le cycle rétroactif ne rend pas compte du comportement "téléologique" des systèmes. Il essaye de montrer, dans les rapports système-système ou système-environnement, les mécanismes de contrôle de la régulation du système, sans rendre compte des interactions dynamiques co-productrices du système.

C'est pourquoi E. Morin a introduit un principe qui va bien au-delà du schéma rétroactif :

Le principe de récursivité ou récursion organisationnelle (Cf. récursion), qui est un type particulier de régulation, fondée sur des interactions dynamiques entre le produit et son processus causateur, où le produit rétroagit sur son causateur (producteur), non pas seulement pour l'informer de ce qui se passe en aval du système (comme c'est le cas dans la rétroaction cybernétique), mais pour se mêler au producteur et redevenir, à terme, le processus causateur du système.

Dans la perspective de dénonciation des limites intrinsèques au modèle de recyclage rétroactif, on peut soulever une autre remarque. Cette dernière s'inscrit dans la différence entre systèmes ouverts et fermés. (Cf. système et thermodynamique).

Selon la théorie des systèmes ouverts, " Le modèle de la rétroaction est un système fermé du point de vue cinétique et thermodynamique ; il ne possède pas de métabolisme.

Dans un système ouvert l'accroissement d'ordre et la baisse d'entropie sont possibles thermodynamiquement. La grandeur «information» est définie grâce à une expression formellement identique à l'entropie négative. Cependant, à l'intérieur d'un mécanisme de rétroaction fermé, l'information ne peut que décroître, c'est-à-dire que l'information peut être transformée en «signal», mais pas le contraire" (L. Von Bertalanffy, op.cit., p.154).

d L'École de Palo Alto

C'est un courant de pensée et de recherche qui a pris le nom de la ville de Palo Alto en Californie, à partir du début des années 1950. On le cite en psychologie et psycho-sociologie ainsi qu'en sciences de l'information et de la communication. Ce courant est notamment à l'origine de la thérapie familiale et de la thérapie brève. Parmi ses principaux fondateurs on trouve Gregory Bateson, Donald D. Jackson, John Weakland, Jay Haley, Richard Fisch et Paul Watzlawick.

e Holistique ou Holisme

Holisme vient du mot grec holos qui veut dire tout, totalité, entier.

La cosmogonie mythologique des anciens Grecs fait surgir l'ordre du chaos primordial. Cette énigme est à l'origine de nombre de supputations métaphysiques. Les débats engagés chez les pré-socratiques se sont poursuivis durant vingt siècles donnant lieu à des courants de pensées opposés : monisme, dualisme, matérialisme, spiritualisme, réalisme, idéalisme, mécanisme, vitalisme...

Holisme et réductionnisme s'inscrivent dans cette histoire

Les monistes perçoivent l'univers comme formé d'une seule réalité fondamentale (les milésiens et les atomistes grecs, Démocrite, Épicure). Alors que les dualistes séparent le monde matériel et le monde spirituel – l'au-delà (Platon, Aristote). Le holisme est un terme nouveau introduit dans les années 1920. Le mot désigne à l'origine, des doctrines, appelées aussi organicistes, qui visent à échapper à la fois au déterminisme et au finalisme, ou peut-être à les concilier, en insistant sur le caractère spécifique de l'organisme. Pour ces holistes, les corps vivants sont des totalités inanalysables et qui ne s'expliquent pas par un assemblage de parties ; il y a quelque chose, selon eux, qui ordonne ces parties et qui n'est pas de l'ordre de la causalité efficiente. Pour Aristote, c'est la forme, organisatrice et conservatrice de l'être vivant (forma est qua ens est in quod est). Ce principe de liaison a porté d'autres dénominations : entéléchie, force vitale, principe directeur. Au début du XXe siècle, les progrès des sciences physiques et biochimiques ainsi que la théorie darwinienne dessinaient un monde où la frontière entre vivant et inanimé semblait devoir disparaître (contrairement à ce qu'affirmait Kant). Un mouvement se dégagait dont les membres considéraient l'explication mécaniste comme universellement valide mais restaient attachés à la présence d'une cause finale. Ils postulèrent l'existence de formes, de types d'organisation qui tendent à se réaliser ; de potentiels qui guident l'évolution vers un but assigné (principe anthropique ou point Ω de Pierre Teilhard de Chardin). Jan Christiaan Smuts fut de ceux là. Ici, point de créationnisme, l'évolution est acceptée et se déroule au sein d'un champ holistique, force organisatrice, qui conduit l'atome vers la conscience.

On emploie actuellement « holisme » soit dans le sens lexical, soit dans le sens que ce terme a pris au sein de différentes disciplines (holisme ontologique, holisme méthodologique, holisme épistémologique, holisme logique, holisme sémantique, holisme philosophique, holisme des sciences humaines, holisme émergentiste,...), soit par abus de langage comme un synonyme d'approche systémique ou de pensée complexe et très régulièrement comme un buzzword.

- Sens lexical : doctrine ou point de vue qui consiste à considérer les phénomènes comme des totalités.

- Holisme ontologique : système de pensée pour lequel les caractéristiques d'un être ou d'un ensemble ne peuvent être connues que lorsqu'on le considère et l'appréhende dans son ensemble, dans sa totalité, et non pas quand on en étudie chaque partie séparément. Ainsi, un être est entièrement ou fortement déterminé par le tout dont il fait partie ; il suffit de, et il faut, connaître ce tout pour comprendre toutes les propriétés de l'élément ou de l'entité étudiés. Un système complexe est considéré comme une entité possédant des caractéris-

tiques liées à sa totalité, et des propriétés non-déductibles de celles de ses éléments. Dans ce sens, le holisme est opposé au réductionnisme.

- Holisme sociologique : Le holisme appliqué aux systèmes humains, par essence complexes, consiste à expliquer les faits sociaux par d'autres faits sociaux, dont les individus ne sont que des vecteurs passifs. Les comportements individuels sont socialement déterminés : la société exerce une contrainte (pouvoir de coercition) sur l'individu qui intériorise (ou « naturalise ») les principales règles et les respecte. Le libre arbitre individuel n'est pas pour autant totalement éliminé, mais statistiquement ce qu'un individu choisit de ne pas faire, un autre le fera, pour un résultat social identique. Ce point de vue fut en partie initié par Émile Durkheim. Dans ce sens, le holisme s'oppose à l'individualisme ou à l'individualisme méthodologique.

- Sens général : Le concept holisme est parfois utilisé comme synonyme d'approche systémique ou de pensée complexe. Les termes holisme, holistique, holiste tentent de faire partager une croyance en une totalité qui dépasse l'expérience humaine limitée et peuvent secondairement servir de buzzword pour tenter de justifier des positions peu étayées (Selon Stephen Barrett : "Les promoteurs du charlatanisme sont habiles dans l'usage de slogans et de mots à la mode")

f Liberty Ship

Elle est dans les interactions entre But-Environnement-Fonction-Structure à travers des boucles de rétroactions négatives correctrices, atténuatrices des déviations. Images de la configuration générale.

C'est l'ingénierie systémique, reprise par le Japon de l'après-guerre en construction navale en série, sur une conception (design) de base qui peut se déployer en une foule de variantes. Ainsi, la construction navale japonaise a fait fermer beaucoup de chantiers navals d'Amérique et d'Europe dans les années 60, avant de passer la main à la Corée dans les années 70 pour se consacrer à l'automobile, l'électronique et l'optique, plus profitables et moins consommatrices de matière et d'énergie. Cette ingénierie systémique des années 40 est l'ancêtre direct de la cybernétique industrielle qui va donner plus tard les techniques de management du PPBS (Planning, Programming, Budgeting System) traduit en français en "Rationalisation des Choix Budgétaire" (RCB), de "Critical Paths Method" (CPM) traduit en français sous le nom de "Méthode des Chemins Critiques" et de PERT (Program Evaluation, Review Technic) traduisible dans la culture française par l'idée suivante : "Éviter les Retards Traditionnels". Ce sont des techniques de gestion dans la coordination d'une multitude d'activités différentes de plusieurs entreprises pour arriver au but commun. L'exemple européen le plus récent de cette ingénierie systémique est le Airbus A380 fait de modules venus à Toulouse de différentes usines d'Europe.

g Isomorphisme

En mathématiques, un isomorphisme est une relation entre deux objets qui démontre leurs similitudes. Par exemple, en théorie des groupes, il permet de déduire plusieurs propriétés d'un groupe à partir d'un autre.

En chimie du solide, l'isomorphisme est la faculté de composés différents de cristalliser avec des mailles de même symétrie et dont les paramètres sont proches, ce qui leur permet de former des cristaux mixtes.

Théorie proposée par Di Maggio (1983) et Powell (1991), l'isomorphisme institutionnel analyse la possibilité de convergence de comportement entre les structures associatives, privées et publiques. Le terme isomorphisme est emprunté aux mathématiques et à la chimie.

Trois facteurs de convergence - d'isomorphisme - sont observés :

- l'isomorphisme normatif : la professionnalisation de la main d'œuvre, via la standardisation des réseaux éducatifs et des critères de recrutement ;

- l'isomorphisme mimétique : dans un contexte d'incertitude et de rationalité limitée, les organisations ont tendance à s'imiter les unes les autres (phénomène également observé en finance, sous le terme « herding » ou « comportement moutonnier ») ;

- l'isomorphisme coercitif : la pression exercée par l'État, notamment via les financements publics, peut à terme imposer certains comportements, favorisant ainsi la prise en compte de normes communes.

h Paradigme

Le mot paradigme tient son origine du mot grec ancien παράδειγμα / paradeigma qui signifie « modèle » ou « exemple ». Ce mot lui-même vient de παραδεικνύναι / paradeiknunaï qui signifie "montrer", "comparer".

Un paradigme est une représentation du monde, une manière de voir les choses, un modèle cohérent de vision du monde qui repose sur une base définie (matrice disciplinaire, modèle théorique ou courant de pensée). C'est en quelque sorte un rail de la pensée dont les lois ne doivent pas être confondues avec un autre paradigme.

Le mot paradigme s'emploie fréquemment dans le sens de Weltanschauung (perception du monde). Par exemple, dans les sciences sociales, le terme est employé pour décrire l'ensemble d'expériences, de croyances et de valeurs qui influencent la façon dont un individu perçoit la réalité et réagit à cette perception. Ce système de représentation lui permet de définir l'environnement, de communiquer à propos de cet environnement, voire d'essayer de le comprendre ou de le prévoir.

L'autre fonction du paradigme, est utile pour un observateur tiers (qui observe celui qui utilise ce paradigme). Cet observateur pourra faire des remarques et se faire une opinion sur la façon dont l'observé est venu à utiliser ce paradigme : nous définissons ce qui va vite ou lentement par rapport à notre propre vitesse de déplacement, l'homme qui a vécu dans la nature peut définir les objets modernes comme inutiles ou maléfiques...

i Ontologie

Le mot ontologie (du grec ontos « être » + logos « langage, raison ») possède plusieurs significations :

Ontologie, branche de la métaphysique

L'ontologie est une branche importante de la métaphysique ; elle étudie les types de choses qu'il y a dans le monde et quelles relations ces choses entretiennent les unes avec les autres. Le métaphysicien essaye également de clarifier les notions par lesquelles les gens comprennent le monde ; l'existence, l'objet, la propriété (d'une chose), l'existence de Dieu, l'espace, le temps, la causalité, la possibilité.

Avant le développement des sciences modernes, la philosophie de la nature était une branche de la métaphysique ; étude objective de la nature et des principes physiques. Avec l'introduction des démarches empiriques et expérimentales, cette branche a été appelée « science » à partir du XVIIIe siècle, afin de la distinguer des interrogations spéculatives concernant les sujets non physiques.

Ontologie médicale, étude de la genèse des maladies

L'ontologie médicale est l'étude de qui « est » (onto- du grec ον, οντος, participe présent du verbe être) en médecine et du processus de leur formation. Elle s'intéresse à la genèse des entités médicales: les maladies, les signes cliniques, les syndromes cliniques, les symptômes, les lésions, les syndromes lésionnels, les anomalies biologiques et les anomalies radiologiques.

Ontologie, mode de représentation des connaissances en informatique

En philosophie, l'ontologie est l'étude de l'être en tant qu'être, c'est-à-dire l'étude des propriétés générales de ce qui existe.

Par analogie, le terme est repris en informatique et en science de l'information, où une ontologie est l'ensemble structuré des termes et concepts représentant le sens d'un champ d'informations, que ce soient par les métadonnées d'un espace de noms, ou les éléments d'un domaine de connaissances. L'ontologie constitue en soi un modèle de données représentatif d'un ensemble de concepts dans un domaine, ainsi que les relations entre ces concepts. Elle est employée pour raisonner à propos des objets du domaine concerné.

Les concepts sont organisés dans un graphe dont les relations peuvent être :

- des relations sémantiques,
- des relations de subsomption (inclusion).

L'objectif premier d'une ontologie est de modéliser un ensemble de connaissances dans un domaine donné, qui peut être réel ou imaginaire.

Les ontologies sont employées dans l'intelligence artificielle, le Web sémantique, le génie logiciel, l'informatique biomédicale et l'architecture de l'information comme une forme de représentation de la connaissance au sujet d'un monde ou d'une certaine partie de ce monde. Les ontologies décrivent généralement :

- Individus : les objets de base,
- Classes : ensembles, collections, ou types d'objets[1],
- Attributs : propriétés, fonctionnalités, caractéristiques ou paramètres que les objets peuvent posséder et partager,
- Relations : les liens que les objets peuvent avoir entre eux,
- Événements : changements subis par des attributs ou des relations.

j Épistémologie

L'épistémologie (du grec <επιστήμη> épistémê - « connaissance », « science » - et <λόγος> logos - « discours ») est, selon la tradition philosophique francophone, une branche de la philosophie des sciences qui « étudie de manière critique la méthode scientifique, les formes logiques et modes d'inférence utilisés en science, de même que les principes, concepts fondamentaux, théories et résultats des diverses sciences, et ce, afin de déterminer leur origine logique, leur valeur et leur portée objective ». Dans la tradition philosophique anglo-saxonne, l'épistémologie se confond avec la théorie de la connaissance, et ne porte donc pas spécifiquement sur la connaissance scientifique. Il arrive également que ce terme soit utilisé comme synonyme de « philosophie des sciences ». La distinction entre ces différentes acceptions, et notamment le rapport de l'épistémologie à la philosophie des sciences, n'est cependant pas clairement établie.

L'épistémologie continentale peut également traiter d'objets non scientifiques. Le mot est également employé parfois pour désigner telle ou telle théorie de la connaissance. Il s'agit donc plus d'une différence de degré dans l'attention portée par différentes traditions à la connaissance scientifique plutôt qu'à la connaissance générale.

L'enquête épistémologique peut porter sur plusieurs aspects de l'activité scientifique : les modes de production de la connaissance scientifique, les fondements de cette connaissance, la dynamique de cette production. Plusieurs questions en découlent : qu'est ce qu'une connaissance scientifique ? Comment est-elle produite ? Comment est-elle validée ? Sur quoi se fonde-t-elle ? Comment les connaissances scientifiques sont-elles organisées ? Comment évoluent-elles (et notamment, progressent-elles ?) ?

À cela s'ajoute parfois une dimension normative de l'analyse. Il ne s'agit plus seulement de décrire la connaissance scientifique, mais de définir ce qui constitue une « bonne » connaissance scientifique.

Enfin, on doit distinguer une épistémologie générale, qui porte implicitement l'idée d'une certaine unité de la science, des épistémologies particulières, qui reposent sur l'idée d'une pluralité, parfois présentée comme irréductible, des différentes sciences. On parle alors d'épistémologie de la physique, de la biologie, des sciences humaines...

Longtemps, l'épistémologie a porté sur le « contenu » de la science, la science en tant qu'institution humaine étant laissée à d'autres disciplines, notamment la sociologie. La question sur la nature de la science se confondait alors avec celle sur la nature de la connaissance scientifique. Ces dernières décennies, ce partage est devenu moins évident, sous l'effet d'une part de certains courants de la sociologie réclamant un « droit de regard » sur ce contenu, sous l'influence d'autre part de certains épistémologues qui jugent nécessaire, pour mieux comprendre la connaissance scientifique, de porter attention aux dimensions concrètes de l'activité scientifique.

Histoire

Le mot "épistémologie" apparaît pour la première fois en France en 1901, dans la traduction de l'introduction de l'Essai sur les fondements de la géométrie de Russel, notamment de ce passage : « Ce fut seulement de Kant, le créateur de l'Épistémologie, que le problème géométrique reçut sa forme actuelle ». Il s'agit donc d'un emprunt à l'anglais "epistemology", formé en 1856 par James F. Ferrier pour traduire l'allemand "Erkenntnistheorie", « théorie de la connaissance ». Mais dans le contexte français, ce sens premier va rapidement évoluer. En effet, à la traduction de l'œuvre de Russel est annexé un Lexique philosophique rédigé par Louis Couturat, qui en son entrée "épistémologie" donne à ce mot le sens d'une « théorie de la connaissance appuyée sur l'étude

critique des Sciences, ou d'un mot, la Critique telle que Kant l'a définie et fondée ». Couturat introduit ainsi une première confusion entre théorie de la connaissance et philosophie des sciences. Cette évolution n'est pas sans conséquence.

L'épistémologie moderne tire donc son origine dans la philosophie de la connaissance kantienne. Mais elle puise également à des traditions plus anciennes, dont la cartésienne.

C'est au début du XXe siècle que l'épistémologie se constitue en champ disciplinaire autonome.

Épistémologie cartésienne

La philosophie cartésienne repose sur quelques postulats simples que l'on peut résumer de la façon suivante :

- L'homme peut accéder à la connaissance universelle par la raison. Il emploie pour cela toutes les ressources de son intelligence, en premier lieu l'« intuition évidente » et la déduction, mais également l'imagination, les sens, et la mémoire (les Règles pour la direction de l'esprit) ;

- L'homme est une « substance pensante ». Ceci s'exprime par le célèbre cogito ergo sum, exposé dans le discours de la méthode, et précisé pour l'essentiel dans les méditations sur la philosophie première ;

- L'homme peut s'appuyer sur la raison seule, et n'a pas besoin des « lumières de la foi » pour accéder à la connaissance (les Principes de la philosophie).

Partant de ces postulats, toute la connaissance repose sur une nouvelle métaphysique, y compris la morale (les Principes de la philosophie).

Malebranche, que l'on considère comme cartésien, a proposé des démarches qui intègrent Dieu.

Épistémologie kantienne

Kant offre un changement de perspective radical vis-à-vis de l'empirisme : c'est une véritable révolution épistémologique, qu'il qualifie lui-même par l'expression célèbre de « révolution copernicienne ». En effet, Kant va montrer que le vrai « centre » de la connaissance est le sujet et non une réalité par rapport à laquelle nous serions passifs.

« Ainsi, dans le temps, aucune connaissance ne précède l'expérience, et toutes commencent avec elle » explique-t-il dans Critique de la raison pure.

Ainsi pour Kant, note Claude Mouchot dans Méthodologie économique, « l'objet en soi, le noumène, est et restera inconnu » et « nous ne connaissons jamais que les phénomènes » et en cela Kant reste très actuel. Selon les termes de Kant (Critique de la raison pure) « il n'y a que les objets des sens qui puissent nous être donnés (...) ils ne peuvent l'être que dans le contexte d'une expérience possible ».

Actuel, Kant le reste également par sa « reconnaissance de l'existence de cadres (spatio-temporels), au travers desquels le réel se présente à nous » écrit encore Claude Mouchot. Toutefois, le caractère a priori de ces cadres ne peut plus être accepté aujourd'hui, suite notamment à la remise en cause de la notion d'espace-temps de la mécanique classique (seule existante au temps de Kant) par la mécanique relativiste. Tout au moins pouvons-nous considérer ces cadres comme étant construits par le sujet, ce qui est le point de vue du constructivisme.

Les questions épistémologiques

On retrouve dans ces différentes questions des aspects descriptifs et normatifs.

Contexte de découverte et contexte de justification : Pendant longtemps, la question de la découverte ne relève pas de l'épistémologie, mais au mieux de la psychologie. Les choses changent progressivement.

- La production des connaissances scientifiques

Quelles méthodes? Quelles formes de validations? La question de l'induction, de la déduction... On trouve ici la question de l'explication, de l'interprétation...

- La nature des connaissances scientifiques

Le problème de la démarcation, qui s'articule évidemment à celui de la validation. C'est aussi le problème des fondements de la connaissance scientifique, ainsi que la question du réalisme/antiréalisme, et celui du

rapport au vrai. Ce qui mène également à la question du relativisme. Il y a aussi la question de l'unité de la science.

- L'organisation des connaissances

Théories, modèles, hypothèses, lois...

- L'évolution des connaissances

Continuisme et discontinuisme, internalisme et externalisme. Ce qui renvoie à nouveau au problème du relativisme.

- La production de la connaissance.

- Induction

L'induction consiste à passer de cas singuliers à une proposition générale. Le problème est de savoir si nous sommes justifiés à croire que nous pouvons prédire un quelconque fait d'après nos théories. Par exemple, nous avons observé que le soleil, jusqu'ici, se lève le matin. Mais rien ne semble justifier notre croyance au fait qu'il se lèvera encore demain. Ce problème avait été jugé insoluble par Hume, pour lequel notre croyance relevait de l'habitude.

- Vérification

- Falsification

- Les critiques holistes

- Le positivisme logique

Le positivisme logique, ou empirisme logique, est une école philosophique principalement illustrée par le Cercle de Vienne, fondée par un groupe réunissant des scientifiques et philosophes viennois dans les années 1920. Même si le positivisme logique est connu pour ses thèses radicales, le Cercle de Vienne était avant tout un lieu de discussion entre scientifiques, (Niels Bohr et Einstein y sont occasionnellement intervenus) et philosophes qui ne partageaient pas les mêmes convictions. On compte notamment dans ses rangs Moritz Schlick, Hans Hahn, Otto Neurath, Carnap. Le Cercle de Vienne est l'auteur d'un manifeste, publié en 1929 sous le titre La conception scientifique du monde, où il expose ses thèses principales. On peut aussi citer Ayer, qui est probablement celui qui a le mieux résumé les grandes thèses du positivisme logique, dans son œuvre Langage, Vérité et Logique.

Cette conception scientifique du monde repose sur trois éléments majeurs à peu près partagés par tous les membres :

1. Les sciences doivent être unifiées dans le langage de la physique (réductionnisme des sciences empiriques) ou de la logique (logicisme), car toute connaissance est soit empirique soit formelle.

2. La philosophie est une élucidation des propositions scientifiques par l'analyse logique ; elle se réduit à une théorie de la connaissance.

3. Cette conception montre que toute métaphysique est dépourvue de sens : les problèmes philosophiques traditionnels ont été mal posés, et leurs solutions sont exprimées inadéquatement sous la forme d'une métaphysique poétique de la vie à prétentions théoriques.

- Falsificationnisme

Karl Popper critique le raisonnement par induction. Ce dernier a certes une valeur psychologique mais pas une valeur logique. De nombreuses observations cohérentes ne suffisent pas à prouver que la théorie qu'on cherche à démontrer soit vraie. A contrario, une seule observation inattendue suffit à falsifier une théorie. Ainsi, mille cygnes blancs ne suffisent pas à prouver que tous les cygnes sont blancs ; mais un seul cygne noir suffit à prouver que tous les cygnes ne sont pas blancs. Voir Paradoxe de Hempel.

Il en résulte qu'une théorie ne peut être « prouvée » mais seulement considérée comme non invalidée jusqu'à preuve du contraire. Partant de là, on peut distinguer :

- les théories impossibles à réfuter (par l'observation ou l'expérience)

- les théories qui peuvent être invalidées.

Seules les théories potentiellement réfutables (celles associables à des expériences dont l'échec prouverait l'erreur de la théorie) font partie du domaine scientifique; c'est le « critère de démarcation des sciences » (entendre par là : des sciences dures).

- Relativisme

Paul Feyerabend observait à l'exemple de la naissance de la mécanique quantique que souvent l'avancement scientifique ne suit pas de règles strictes. Ainsi, selon lui, le seul principe qui n'empêche pas

l'avancement de la science est « a priori tout peut être bon » (ce qui définit l'anarchisme épistémologique). Il critique donc l'aspect réducteur de la théorie de la réfutabilité et défend le pluralisme méthodologique. Il existe selon lui une très grande variété de méthodes différentes adaptées à des contextes scientifiques et sociaux toujours différents. De plus, il remet en question la place que la théorie de la réfutabilité accorde à la science, en en faisant l'unique source de savoir légitime, et le fondement d'une connaissance universelle qui dépasse les clivages culturels et communautaires. Enfin, Feyerabend critique le manque de pertinence pour décrire correctement la réalité du monde scientifique et des évolutions des discours et pratiques scientifiques.

Son œuvre principale, *Contre la méthode*. Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance, fut reçue très négativement par la communauté scientifique, car elle accusait la méthode scientifique d'être un dogme et soulevait la question de savoir si la communauté doit être aussi critique par rapport à la méthode scientifique que par rapport aux théories qui en résultent.

- L'organisation des connaissances
- Dynamiques de la science
- Continuisme et discontinuisme

Bachelard et l'« obstacle épistémologique » : Gaston Bachelard définit, en 1934, dans un article intitulé *La formation de l'esprit scientifique*, ce dernier comme étant « la rectification du savoir, l'élargissement des cadres de la connaissance ». Pour lui, le scientifique doit se dépouiller de tout ce qui constitue les « obstacles épistémologiques internes », en se soumettant à une préparation intérieure afin que sa recherche progresse vers la vérité. La notion d'obstacle épistémologique est ce qui permet de poser le problème de la connaissance scientifique : c'est à partir du moment où celui-ci est surmonté, donnant lieu à une « rupture épistémologique », que l'on atteint le but recherché. Les obstacles sont, pour Bachelard, non seulement inévitables, mais aussi indispensables pour connaître la vérité. Celle-ci en effet n'apparaît jamais par une illumination subite, mais au contraire, après de longs tâtonnements, « une longue histoire d'erreurs et d'errances surmontées ».

Bachelard dénonce l'opinion que nous laisse l'expérience empirique et son influence sur la connaissance scientifique : « le réel n'est jamais ce que l'on pourrait croire, il est toujours ce qu'on aurait dû penser », dit-il. « La science s'oppose formellement à l'opinion : l'opinion ne pense pas, elle traduit des besoins en connaissances. » La connaissance scientifique consistera à revenir sans arrêt sur le déjà découvert.

Mettant l'accent sur la discontinuité dans le processus de la construction scientifique, Thomas Kuhn discerne des périodes relativement longues pendant lesquelles la recherche est qualifiée de « normale », c'est-à-dire qu'elle s'inscrit dans la lignée des paradigmes théoriques dominants, périodes pendant lesquelles de brefs et inexplicables changements constituent une véritable « révolution scientifique ». Le choix entre les paradigmes n'est pas fondé rationnellement. Cette posture implique que chaque paradigme permet de résoudre certains problèmes et, de là, les paradigmes seraient incommensurables.

- Internalisme et externalisme

La vision internaliste [Quoi ?] ne prend en compte que l'histoire des idées scientifiques, de découverte en découverte : les savants sont un monde à part, qui progresse indépendamment du reste. La science se nourrit d'elle-même. Il est ainsi possible de comprendre l'histoire des sciences sans se référer au contexte culturel. L'important, ce sont les étapes de progression de l'histoire scientifique.

La vision externaliste rend au contraire la science dépendante de l'économie, de la psychologie, etc. Ceci amène à des conséquences différentes suivant le contexte.

- Les épistémologies régionales

k Sciences cognitives

Les sciences cognitives sont un ensemble de disciplines scientifiques visant à l'étude et la compréhension des mécanismes de la pensée humaine, animale ou artificielle, et plus généralement de tout système cognitif, c'est-à-dire tout système complexe de traitement de l'information capable d'acquiescer, conserver, et transmettre des connaissances. Les sciences cognitives reposent donc sur l'étude et la modélisation de phénomènes aussi divers que la perception, l'intelligence, le langage, le calcul, le raisonnement ou même la conscience... En tant que domaine interdisciplinaire, les sciences cognitives utilisent

conjointement des données issues d'une multitude de branches de la science et de l'ingénierie, en particulier : la linguistique, l'anthropologie, la psychologie, les neurosciences, la philosophie, l'intelligence artificielle.

Après environ cinquante années d'existence, les sciences cognitives forment donc un champ interdisciplinaire très vaste dont les limites et l'articulation des disciplines constitutives entre elles font toujours débat. Certains estiment toutefois que les sciences cognitives ont dépassé le simple stade d'une accumulation de connaissances pluridisciplinaire et ont donné naissance à deux disciplines autonomes :

- à une science fondamentale, dite science de la cognition, dont les spécialistes parfois appelés cognitivistes sont réunis en sociétés savantes et publient dans des revues scientifiques internationales transdisciplinaires.
- à un secteur applicatif industriel du domaine de l'ingénierie de la connaissance : la cognitique.

I Thermodynamique

On peut définir la thermodynamique de deux façons simples : la science de la chaleur et des machines thermiques ou la science des grands systèmes en équilibre. La première définition est aussi la première dans l'histoire. La seconde est venue ensuite, grâce aux travaux pionniers de Ludwig Boltzmann.

Avec la physique statistique, dont elle est désormais une partie, la thermodynamique est l'une des grandes théories sur lesquelles se fonde la compréhension actuelle de la matière.

Premier principe de la thermodynamique

Le premier principe de la thermodynamique affirme que l'énergie est toujours conservée. Autrement dit, l'énergie totale d'un système isolé reste constante. Les événements qui s'y produisent ne se traduisent que par des transformations de certaines formes d'énergie en d'autres formes d'énergie. L'énergie ne peut donc pas être produite ex nihilo ; elle est en quantité invariable dans la nature. Elle ne peut que se transmettre d'un système à un autre. On ne crée pas l'énergie, on la transforme.

Ce principe est aussi une loi générale pour toutes les théories physiques (mécanique, électromagnétisme, physique nucléaire,...) On ne lui a jamais trouvé la moindre exception, bien qu'il y ait parfois eu des doutes, notamment à propos des désintégrations radioactives. On sait depuis le théorème de Noether que la conservation de l'énergie est étroitement reliée à une uniformité de structure de l'espace-temps.

Elle rejoint un principe promu par Lavoisier : « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ».

Système thermodynamique typique - la chaleur se déplace du chaud (évaporateur) vers le froid (condenseur) et le travail est extrait.

Avec la physique statistique, dont elle est désormais une partie, la thermodynamique est l'une des grandes théories sur lesquelles se fonde la compréhension actuelle de la matière.

On peut définir la thermodynamique de deux façons simples : la science de la chaleur et des machines thermiques ou la science des grands systèmes en équilibre. La première définition est aussi la première dans l'histoire. La seconde est venue ensuite, grâce aux travaux pionniers de Ludwig Boltzmann.

Le deuxième principe de la thermodynamique

Le deuxième principe de la thermodynamique (également connu sous le nom de deuxième loi de la thermodynamique) établit l'irréversibilité des phénomènes physiques, en particulier lors des échanges thermiques. C'est un principe d'évolution qui fut énoncé pour la première fois par Sadi Carnot en 1824. Il a depuis fait l'objet de nombreuses généralisations et formulations successives par Clapeyron (1834), Clausius (1850), Lord Kelvin, Ludwig Boltzmann en 1873 et Max Planck (voir Histoire de la thermodynamique et de la mécanique statistique), tout au long du XIX^{ème} siècle et au-delà.

Le second principe introduit la fonction d'état entropie : S , usuellement assimilée à la notion de désordre qui ne peut que croître au cours d'une transformation réelle.

m Heuristique

Heuristique (du grec *heuriskêin*, « trouver ») est un terme de didactique qui signifie l'art d'inventer, de faire des découvertes (Littré). C'est en sociologie, une discipline qui se propose de dégager les règles de la recherche scientifique (Larousse).

En optimisation combinatoire, Théorie des graphes et Théorie de la complexité, une heuristique est un algorithme qui fournit rapidement (en temps polynomial) une solution réalisable, pas nécessairement

optimale, pour un problème d'optimisation NP-difficile. Une heuristique, ou méthode approximative, est donc le contraire d'un algorithme exact qui trouve une solution optimale pour un problème donné. Les algorithmes de résolution exacts étant de complexité exponentielle, il est généralement plus judicieux de faire appel à des méthodes heuristiques pour des problèmes difficiles. On retiendra cependant que des méthodes de résolution exactes (comme le simplexe) sont de complexités exponentielles mais parfois plus efficaces en pratique qu'une méthode heuristique. L'usage d'une heuristique est pertinente pour calculer une solution approchée d'un problème et ainsi accélérer le processus de résolution exacte.

Généralement une heuristique est conçue pour un problème particulier, en s'appuyant sur sa structure propre, mais les approches peuvent contenir des principes plus généraux. On parle de méta heuristique pour les méthodes approximatives générales, pouvant s'appliquer à différents problèmes (comme le recuit simulé par exemple).

La qualité d'une heuristique peut s'évaluer selon deux critères scientifiques :

1) Critère pratique, ou empirique : on implémente l'algorithme approximatif et on évalue la qualité de ses solutions par rapport aux solutions optimales (ou aux meilleures solutions connues). Ceci passe par la mise en place d'un benchmark (ensemble d'instances d'un même problème accessible à tous).

2) Critère mathématique : il faut démontrer que l'heuristique garantit des performances. La garantie la plus solide est celle des algorithmes approchés, sinon il est intéressant de démontrer une garantie probabiliste, lorsque l'heuristique fournit souvent, mais pas toujours, de bonnes solutions.

C'est un fait que ces deux critères peuvent être contradictoires. Un exemple frappant est celui du transversal minimum. L'algorithme 2-approché pour ce problème est dans une imposante majorité des cas nettement moins efficace que l'heuristique des plus hauts degrés. Celle-ci consiste à former une solution réalisable en sélectionnant à chaque itération le sommet couvrant un maximum de sommets. Cette heuristique peut pourtant fournir des solutions aussi mauvaises que l'on veut, dans le sens que pour tout $\rho > 1$ on peut construire une instance pour laquelle l'heuristique donne une solution dont la valeur est supérieure à ρ fois celle de l'optimum.

Ironiquement, la principale difficulté de la résolution exacte d'un problème d'optimisation combinatoire est non pas de trouver une solution optimale, ce qui souvent arrive assez rapidement lors du processus de résolution, mais de démontrer qu'une solution est bien la meilleure possible, c'est-à-dire de réaliser que l'on a la solution optimale. Le critère mathématique est surtout important car l'information qu'il donne est exploitable dans un processus de résolution exacte.

n Bionique

La bionique est la science qui étudie la vie avec l'objectif de comprendre les mécanismes de fonctionnement des organismes vivants et évolutifs afin de pouvoir les appliquer aux créations humaines.

Elle est une science qui se base sur l'étude des systèmes biologiques pour le développement de systèmes non biologiques susceptibles d'avoir des applications technologiques.

La bionique est devenue incontournable en différents domaines :

- l'intelligence artificielle
- la robotique (des robots nageurs à queue de poisson et des robots « insectes »)
- les revêtements autonettoyants basés sur les études sur les feuilles de lotus
- les revêtements hydro - ou aérodynamiques inspirés par la peau de requin

- l'aéronautique aussi, dès ses débuts s'est inspirée de la nature : notamment avec le profil canard

- la conception de nouveaux casques de protection bioniques adaptés à la structure interne de la tête humaine

o Etymologie

L'étymologie est une discipline diachronique de la linguistique, qui étudie l'origine des mots.

Elle s'appuie sur des lois de la phonétique historique et sur l'évolution sémantique des termes envisagés.

Étymologie est un mot composé savant grec, *ετυμολογία* / *etymologia*, lui-même formé sur les radicaux *ετυμος* *étumos* « véritable » et de la base - *λογία* - *logia* (dérivée de *λόγος* "logos" « discours, raison »), qui fournit les noms de disciplines. C'est donc, à l'origine, l'étude de la vraie signification d'un mot. Cette définition naïve doit cependant être dépassée : l'étymologie étudie sinon l'origine, du moins un état, le plus ancien possible, des mots.

On considère que les mots d'une langue peuvent, d'un point de vue diachronique, avoir principalement trois origines :

- ce sont des mots hérités d'un état plus ancien de la même langue ou d'une langue-mère, mots qui ont donc subi les processus d'évolution phonétique ; le terme ancien à l'origine du mot nouveau est nommé étymon. Par exemple le Petit Robert donne les étymologies suivantes :

- pour peuple : latin *populus* ; *poblo* (842) ; *pueple*, *pople* (Xle siècle) ; *peuple* (vers 1430)

- pour bœuf : latin *bos*, *bovis* ; *buef* (Xle siècle)

- ce sont des mots empruntés à une autre langue, qui sont donc adaptés au système phonologique et graphique de la langue réceptrice ;

- ce sont des créations ou « néologismes » (souvent à partir de racines grecques et latines pour les langues européennes, parfois à partir de racines propres à la langue elle-même, comme pour l'islandais).

p Phénoménologie

La phénoménologie est un terme philosophique, auquel on attribue quatre sens différents :

- Tout d'abord pour Fichte, la phénoménologie est la doctrine de l'apparition, dans le concept, ou la phénoménalisation, du savoir absolu (qui n'est pas le savoir d'un objet, mais savoir du savoir). La phénoménologie est une partie essentielle de la doctrine de la science (voire elle se confond avec celle-ci) parce que sans elle, le savoir absolu n'aurait pas d'"existence".

- Pour Hegel en 1807, c'est une approche de la philosophie qui commence par l'exploration des phénomènes (c'est-à-dire ce qui se présente consciemment à nous) afin de saisir l'Esprit absolu, logique, ontologique, métaphysique qui se manifeste dans les phénomènes. Pour Hegel, contrairement à Fichte, le phénomène désigne un moment d'apparition d'une détermination du savoir.

- Ensuite pour Edmund Husserl, la phénoménologie prend pour point de départ l'expérience en tant qu'intuition sensible des phénomènes afin d'essayer d'en extraire les dispositions essentielles des expériences ainsi que l'essence de ce dont on fait l'expérience. La phénoménologie est la science des phénomènes, c'est-à-dire la science des vécus par opposition aux objets du monde extérieur. La phénoménologie husserlienne se veut également une science philosophique, c'est-à-dire universelle. En outre, elle est une science apriorique, ou eidétique, à savoir une science qui énonce des lois dont les objets sont des « essences immanentes ». Ce caractère apriorique oppose la phénoménologie de Husserl à la psychologie descriptive de son maître Franz Brentano, qui en fut néanmoins, d'autres égards, un précurseur. Cela constitue la « phénoménologie transcendantale ». Sa philosophie fut ensuite développée par entre autres Maurice Merleau-Ponty, Max Scheler, Hannah Arendt, Suzanne Bachelard, Dietrich von Hildebrand et Emmanuel Levinas.

- Pour Martin Heidegger la vision phénoménologique d'un monde d'êtres doit être déviée vers l'appréhension de l'Être en tant qu'être, comme une introduction à l'ontologie mais qui reste une ontologie critique face à la métaphysique. C'est la « phénoménologie existentielle ».

Le conflit phénoménologique entre Husserl et Heidegger a influencé le développement de la phénoménologie existentielle et l'existentialisme.

lisme en France comme on peut le constater avec le travail de Jean-Paul Sartre et de Simone de Beauvoir ; la phénoménologie de Munich (Johannes Daubert, Adolf Reinach) et Alfred Schütz ; et la phénoménologie herméneutique de Paul Ricœur.

Kant

Une section de la Critique de la raison pure de Kant devait s'appeler Phénoménologie ; mais Kant remplaça finalement ce nom par celui d'Esthétique transcendantale.

Fichte

La phénoménologie est un concept central de la philosophie de Fichte. Elle désigne la partie de la doctrine de la science qui développe la phénoménalisation (apparition, extériorisation) du fondement et du principe du savoir. Il ne peut y avoir de savoir absolu (qui n'est pas un savoir d'un objet mais de ce qui fait qu'un savoir est effectivement un savoir) que phénoménalisé. Aussi oppose-t-il, dès La Doctrine de la Science de 1804, à la doctrine de l'être et de la vérité la doctrine du phénomène ou phénoménologie. A la fin de sa vie, Fichte identifie même la phénoménologie à la doctrine de la science.

Hegel

Après Fichte, Hegel donne lui aussi au concept de phénoménologie une place capitale. Il publie en 1807 la Phénoménologie de l'esprit. Toutefois, cette entreprise n'a qu'un rapport très éloigné avec la phénoménologie de Husserl (à savoir, il s'agit d'une « science de l'expérience de la conscience »). La phénoménologie est également une partie de l'esprit subjectif dans l'Encyclopédie des sciences philosophiques.

C'est le contexte qui détermine si l'on parle de la phénoménologie au sens fichtéen, hégélien ou husserlien ; mais en général, le terme de phénoménologie, pris isolément, désigne celle de Husserl ou de ses héritiers.

Franz Brentano

Le philosophe Brentano, professeur de Freud et de Edmund Husserl peut être considéré comme le "père" de la phénoménologie, notamment par son cours sur l'intentionnalité chez Thomas d'Aquin, que l'on retrouve ensuite chez Husserl.

Bien que le terme ait été employé antérieurement dans un sens voisin, c'est à Edmund Husserl (1859-1938) qu'on attribue généralement la création de la phénoménologie. La phénoménologie a connu un essor impressionnant au XXe siècle. Mais la plupart des disciples et des héritiers de Husserl se sont détournés de son « idéalisme transcendantal ». Les principaux héritiers de cette tradition sont, en Allemagne, Martin Heidegger et Eugen Fink. Du côté français, la phénoménologie conduira aux travaux de Maurice Merleau-Ponty, de Jean-Paul Sartre, d'Emmanuel Levinas et de Paul Ricœur.

La phénoménologie a aussi eu une grande influence sur la psychologie telle qu'elle se pratique encore de nos jours et plus généralement sur l'épistémologie. Elle a donné naissance à une clinique psychiatrique particulièrement riche, à partir des travaux du psychanalyste Ludwig Binswanger. En France, elle influença le courant de la psychothérapie institutionnelle.

Edmund Husserl

La phénoménologie de Edmund Husserl se définit d'abord comme une science transcendantale qui veut mettre au jour les structures universelles de l'objectivité. Elle propose une appréhension nouvelle du monde, complètement dépouillée des préjugés naturalistes qui persistaient à l'époque. La phénoménologie de Husserl repose sur la définition de l'intentionnalité telle que donnée par Franz Brentano et qui affirme que la particularité de la conscience est qu'elle est toujours conscience de quelque chose. Le leitmotiv des phénoménologues est Aux choses mêmes !. Les phénoménologues illustrent ainsi leur désir d'appréhender les phénomènes dans leur plus simple expression et de remonter au fondement de la relation intentionnelle.

Le projet de la phénoménologie fut d'abord de refonder la science en remontant au fondement de ce qu'elle considère comme acquis et en mettant au jour le processus de sédimentation des vérités qui peuvent être considérées comme éternelles. Husserl espère ainsi échapper à la crise des sciences qui caractérise le XXe siècle.

q Stochastique

Le mot stochastique est synonyme d'aléatoire.

Le calcul des probabilités classique concerne des épreuves où chaque résultat possible (ou réalisation) est un nombre, ce qui conduit à la notion de variable aléatoire. Un processus stochastique ou processus aléatoire ou fonction aléatoire représente une évolution, généralement dans le temps, d'une variable aléatoire.

Le calcul stochastique est l'étude des phénomènes aléatoires dépendant du temps. À ce titre, il est une extension de la théorie des probabilités.

En mathématiques, une matrice stochastique (aussi appelée matrice de Markov) est une matrice carrée dont chaque élément est un réel compris entre 0 et 1 et dont la somme des éléments de chaque ligne vaut 1. Cela correspond, en probabilité, à la matrice de transition d'une chaîne de Markov finie.

Effet stochastique.

Par opposition aux effets dits déterministes, les effets stochastiques n'apparaissent pas selon le principe d'une cause qui induit toujours le même effet. Ils concernent par exemple les effets de faibles doses de toxiques, ou les effets des rayonnements ionisants néfastes à la santé. Le cancer est un exemple de maladie, souvent multi-factorielle, résultant d'effets stochastiques.

Contrairement à un effet déterministe, un effet stochastique n'est pas lié à un effet de seuil (typiquement, une limite d'exposition à un rayonnement ionisant qui, si elle était dépassée, induirait des effets connus et d'ampleur prévisible). On ne peut lui adjoindre qu'une estimation statistique du « risque » de voir l'effet se manifester chez un patient. Il existe néanmoins un seuil de significativité (une limite au-delà de laquelle le risque est considéré comme significatif). Par ailleurs, il n'est pas possible de quantifier une dose pour laquelle un effet donné serait certain de se manifester — par contre, sa probabilité d'apparition (et donc la fréquence d'apparition de ce risque) augmente selon la dose reçue, mais de façon aléatoire.

r Métathéorie

Théorie, langage dont l'objet est une théorie, un système axiomatique, etc.

Les linguistes nous ont habitués à distinguer le "langage-objet", d'une part et le "métalangage", de l'autre. Le langage-objet est celui que nous utilisons couramment pour parler du monde extérieur, pour exprimer nos sentiments ou nos intentions, etc. Le "métalangage" est le langage que nous utilisons pour parler du langage lui-même.

De la même façon, on a pris l'habitude de parler de "métathéorie" pour parler des énoncés sur les théories scientifiques, par opposition aux théories scientifiques elles-mêmes, qui sont en général des énoncés sur le monde extérieur.

Prenons, par exemple, la formule $g = f(mm'/d^2)$ qui exprime que "l'attraction entre deux corps est proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare". Cette formule est un énoncé théorique. Par contre, lorsque je dis "la physique se donne pour objectif de décrire le monde sous la forme d'un ensemble de lois universelles", on est dans le domaine méta- théorique, ou, plus généralement, méta-scientifique.

s Sémiologie

Le terme sémiologie a été créé par Emile Littré et pour lui, il se rapportait à la médecine. Il a ensuite été repris et élargi par Ferdinand de Saussure, pour qui la sémiologie est « la science qui étudie la vie des signes au sein de la vie sociale » (Cours de linguistique générale, p. 33). Le terme sémiotique, inventé par Charles Sanders Peirce quelques années auparavant, recouvre la même idée et est utilisé le plus fréquemment en dehors de France.

Toute science étudiant des signes est une sémiologie. Le terme est donc utilisé dans plusieurs disciplines.

Sémiologie en linguistique

La sémiologie (du grec « sémion », le signe, et « logia », discours rationnel) apparaît être une discipline récente. En linguistique, la théorie générale des signes n'est pas nouvelle puisqu'on la rencontre chez des auteurs comme Court de Gébelin ou Joseph-Marie de Gérando.

Tombée presque un siècle dans l'oubli, la publication du Cours de linguistique générale de Ferdinand de Saussure propose d'en renouveler la définition, ou plutôt d'en circonscrire le champ d'étude : « On peut donc concevoir une science qui étudie la vie des signes au sein de la vie sociale ; elle formerait une partie de la psychologie sociale, et par conséquent de la psychologie générale ; nous la nommerons sémiologie. Elle nous apprendrait en quoi consistent les signes, quelles lois les régissent. Puisqu'elle n'existe pas encore, on ne peut dire ce qu'elle sera ; mais elle a droit à l'existence, sa place est déterminée d'avance. La linguistique n'est qu'une partie de cette science générale... » (de Saussure, 1972 [1916], p. 33).

On assiste alors à un regain d'intérêt pour l'étude des signes, et la sémiologie devient une nouvelle discipline dans les Sciences sociales avec des auteurs comme Greimas, Barthes, Jean Baudrillard, Mounin ou Umberto Eco.

Sémiologie médicale

C'est pour la médecine que ce terme a été inventé par Emile Littré. La sémiologie médicale est la partie de la médecine qui étudie les symptômes et signes et la façon de les relever et de les présenter afin de poser un diagnostic

Sémiologie en géographie

On parle également de sémiologie en géographie. Elle y est utilisée comme "technique" d'interprétation ou de traduction. En particulier, la géographie s'intéresse non seulement à la sémiologie générale, mais aussi à la sémiologie graphique : par exemple, l'étude de la pertinence des représentations de l'espace (notamment cartographiques) et des groupes sociaux qui les peuplent (représentations paysagères, processus de construction de l'identité, etc.) utilise le cadre conceptuel de la sémiologie graphique.

Sémiologie visuelle

La sémiologie visuelle ou sémiotique visuelle a été particulièrement développée dans les travaux du Groupe μ , et spécialement dans l'ouvrage fondamental qu'est *Traité du signe visuel* (1992). Cet ouvrage part des fondements physiologiques de la vision, pour observer comment le sens investit peu à peu les objets visuels. Il distingue d'une part les signes iconiques (ou icônes), qui renvoient aux objets du monde, et les signes plastiques, qui produisent des significations dans ses trois types de manifestation que sont la couleur, la texture et la forme. Il montre comment le langage visuel organise ses unités en une véritable grammaire. Une telle grammaire permet de voir comment fonctionne une rhétorique visuelle, au sein d'une rhétorique générale.

Sémiologie de la photographie

Pol Corvez travaille sur la sémiologie de la photographie. Au lieu de se fonder sur les référents, comme le font les typologies traditionnelles, il se fonde sur le repérage et l'analyse des signifiants propres à la photographie et aux arts graphiques et propose une typologie des œuvres photographiques.

Sémiologie de la musique

La tripartition de Molino et Nattiez soutient que toute oeuvre musicale peut être abordée de trois points de vue : le niveau poétique (point de vue de la production), le niveau esthétique (point de vue de celui qui reçoit le message musical) et le niveau immanent de l'oeuvre (niveau neutre, l'ensemble des configurations du texte musical). L'originalité de la tripartition de Molino et Nattiez est l'affirmation de la non-convergence des ces trois niveaux.

9 BIOGRAPHIES

Karl Ludwig von Bertalanffy

Karl Ludwig von Bertalanffy (19 septembre, 1901, Vienne, Autriche - 12 juin, 1972, New York, É.-U.) est un biologiste fondateur de la théorie générale des systèmes au travers de son oeuvre *General System Theory*.

Citoyen autrichien, il a dû travailler aux États-Unis. Cependant, il a éprouvé une discrimination dans le milieu académique américain du fait qu'il a refusé de se dépeindre comme une victime du nazisme et il est revenu travailler en Europe. Hungaro-canadien, il a principalement travaillé au Canada depuis 1949.

Ludwig von Bertalanffy, biologiste, a présenté, dès 1937, le concept de "système ouvert" qui évoluera petit à petit vers la "théorie générale des systèmes" (*General System Theory*).

"[...] Le but de cette théorie générale était de dégager des principes explicatifs de l'univers considéré comme système à l'aide desquels on pourrait modéliser la réalité. Bertalanffy proclamait alors: "...il y a des systèmes partout".

Ceci revient à dire que l'on peut observer et reconnaître partout des objets possédant les caractéristiques des systèmes. C'est-à-dire des totalités dont les éléments, en interaction dynamique, constituent des ensembles ne pouvant être réduits à la somme de leurs parties. Citant Bertalanffy (1968, p.220), Jean-Louis Le Moigne (*"Théorie du système général"*, PUF, Paris, 1977) écrit :

"[...] De tout ce qui précède, se dégage une vision stupéfiante, la perspective d'une conception unitaire du monde jusque-là insoupçonnée. Que l'on ait affaire aux objets inanimés, aux organismes, aux processus mentaux ou aux groupes sociaux, partout des principes généraux semblables émergent".

En collaboration avec l'économiste Boulding, le physiologiste Gerard et le mathématicien Rapoport, Bertalanffy fonde, en 1954, la "Société pour l'Étude des Systèmes Généraux" dont les objectifs consistent : "à rechercher l'isomorphisme des concepts, des lois et des modèles dans les différents domaines, et à favoriser leurs transferts d'un domaine à l'autre; "à encourager l'élaboration de modèles théoriques adéquats dans les domaines qui en sont dépourvus; "à éliminer les duplications des travaux théoriques dans différents domaines; "à promouvoir l'unité de la science en améliorant la communication entre les spécialistes" (Checkland, *"Systems Thinking, Systems Practice"*, p. 93, London: John Wiley & Son, London, 1981).

En plus de travailler à la réalisation de ces objectifs ambitieux, la société créa un cahier annuel, le *"General Systems Yearbook"*, et favorisa la publication d'un nombre impressionnant d'articles traitant de la systémique.

Bertrand Arthur William Russell

(18 mai 1872, Tellek, Monmouthshire - 2 février 1970, près de Penrhyn-deudraeth, Pays de Galles)

Ce 3e comte Russell, est un mathématicien, logicien, philosophe, épistémologue, homme politique et moraliste britannique.

Considéré comme l'un des plus importants philosophes du XXe siècle, avec une pensée qui peut être présentée selon trois grands axes.

La logique et le fondement des mathématiques : Russell est, avec Frege, l'un des fondateurs de la logique contemporaine. Son ouvrage majeur, écrit avec Alfred North Whitehead, est *Principia Mathematica*. À la suite des travaux d'axiomatisation de l'arithmétique de Peano, Russell a tenté d'appliquer ses propres travaux de logique à la question du fondement des mathématiques (cf. logicisme).

Il soutint l'idée d'une philosophie scientifique, et a proposé d'appliquer l'analyse logique aux problèmes traditionnels, tels que l'analyse de l'esprit, de la matière (problème corps-esprit), de la connaissance, ou encore de l'existence du monde extérieur. Il est ainsi le père de la philosophie analytique. Jules Vuillemin le fera connaître en France.

L'engagement social et moral : il écrivit des ouvrages philosophiques dans une langue simple et accessible, en vue de faire partager sa conception d'une philosophie rationaliste œuvrant pour la paix et l'amour. Il s'est engagé dans de nombreuses polémiques qui le firent qualifier de Voltaire anglais, défendit des idées proches du socialisme de tendance libertaire et milita également contre toutes les formes de religions, considérant qu'elles sont des systèmes de cruauté inspirés par la peur et l'ignorance. Il organisa le tribunal Sartre-Russell contre les crimes survenus pendant la guerre du Viet-Nam.

Son oeuvre, qui comprend également des romans et des nouvelles, fut couronnée par le prix Nobel de littérature en 1950, en particulier pour son engagement humaniste et comme libre penseur. Enfin, il devint membre du Parlement britannique.

Walter Bradford Cannon

Walter Bradford Cannon (1871-1945) est un physiologiste américain. C'est un des précurseur des rayons X, et il a entre autre développé le principe de fight-or-flight (en:fight-or-flight) à l'origine de celui de double contrainte, et celui d'homéostasie notamment dans *The Wis-*

dom of the Body (1932). Ce concept d'homéostasie sera une des clés du développement du mouvement cybernétique.

Il est président de l'American Physiological Society (APS) de 1914 à 1916.

Ludwig Boltzmann

Ludwig Boltzmann (né Ludwig Eduard Boltzmann le 20 février 1844 à Vienne, Autriche - 5 septembre 1906 à Duino) est un physicien autrichien. Il est considéré comme le père de la physique statistique et un fervent défenseur de l'existence des atomes. Validant l'hypothèse de Démocrite selon laquelle « la matière peut être considérée comme un ensemble d'entités indivisibles », Boltzmann, à l'aide de son équation cinétique dite « de Boltzmann », a théorisé de nombreuses équations de mécanique des fluides.

Au cours de sa carrière de physicien, Boltzmann eut également l'occasion d'adopter un point de vue philosophique plus général sur les sciences. Tout en s'inscrivant pleinement dans la tradition de philosophie des sciences autrichiennes, ses positions peuvent également être considérées tout à la fois comme une anticipation des conceptions de Thomas Kuhn relatives aux révolutions scientifiques. Partisan d'une approche évolutionniste inspirée des travaux de Charles Darwin, Boltzmann considère les théories scientifiques comme autant d'« images du monde » susceptibles d'évoluer en fonction de notre cadre culturel. Il développe également la thèse selon laquelle la connaissance consiste principalement en une élaboration de modèles, et il systématise cette idée dans l'article *Modèle* qu'il rédige pour l'Encyclopaedia Britannica. Ces conceptions exerceront une influence décisive sur le positivisme logique du Cercle de Vienne, ainsi que sur Ludwig Wittgenstein qui reconnaîtra en lui l'une de ses influences principales.

Claude Bernard

Claude Bernard naquit en 1813 dans le petit village de Saint-Julien en Beaujolais. Son père était vigneron. Le curé du village, puis les prêtres du collège de Villefranche apprirent au jeune Claude Bernard les rudiments du latin et des humanités classiques dont l'étude s'acheva au collège de Thoissey. A 19 ans, il arrive à Lyon et il se place comme préparateur chez un pharmacien. Après des études en pharmacie, il tente une carrière de dramaturge, mais se réoriente vers des études de médecine. Il est diplômé en 1843 mais échoue à l'agrégation l'année suivante.

Il a consacré sa carrière à la physiologie. Il a été professeur au Collège de France, à la Sorbonne et enfin au Muséum national d'histoire naturelle.

Il découvre le rôle de la sécrétion pancréatique dans la digestion des graisses (1848), le rôle du foie dans la sécrétion interne du glucose dans le sang (1848), l'induction du diabète par ponction au niveau du plancher du 4^e ventricule (1849), l'augmentation de la température cutanée après section du nerf sympathique cervical (1851), la production de sucre par le foie lavé après excision (1855) et isolation du glycogène (1857), la spécificité du curare dans la paralysie de jonction neuro-musculaire (1856) et démontre que le monoxyde de carbone bloque la respiration dans les érythrocytes (1857).

Il a mis en évidence l'homéostasie (constance du milieu intérieur) vers 1860. Il est élevé au rang de sénateur en 1865, élu à l'Académie française en 1868 et a reçu la Médaille Copley en 1876. Il est membre étranger de la Royal Society depuis 1864.

Dans un mémoire posthume sur la fermentation alcoolique, qui sera à l'origine d'une polémique entre Pasteur et Berthelot, il défend (contre Pasteur) la thèse du « ferment soluble », qui sera consacrée par la théorie des enzymes, mais va jusqu'à soutenir que la levure (vivante) est produite par le « ferment soluble » (non vivant), ce que les historiens des sciences considèrent comme une régression vers la génération spontanée [1].

Claude Bernard est considéré comme l'un des principaux initiateurs de la démarche expérimentale hypothético-déductive, formalisée souvent - parfois rigidifiée dans l'enseignement - par « OHERIC » : Observation - Hypothèse - Expérience - Résultat - Interprétation - Conclusion. C'est d'ailleurs une démarche tronquée par rapport à celle présentée dans la Médecine Expérimentale. Il y manque deux étapes fondamentales. On ne peut pas donner d'hypothèse sans avoir posé le problème à résoudre, puisqu'une hypothèse est une réponse possible

à une question suscitée par une observation. L'expérience teste la conséquence vérifiable de l'hypothèse.

Il est un médecin et physiologiste, connu pour l'étude du syndrome de Claude Bernard-Horner. Il est considéré comme le fondateur de la médecine expérimentale.

Jacques Lesourne

Jacques Lesourne, né le 26 décembre 1928 à La Rochelle, est économiste, polytechnicien et ingénieur du corps des Mines.

Ancien élève de l'École polytechnique (promotion 1948, dont il est sorti major), et de l'École des mines de Paris (sorti en 1953, major sur dix élèves corpsards, il a eu notamment comme professeur Maurice Allais, prix Nobel, qui l'a fortement influencé).

Il a été successivement chef du service économique aux Charbonnages de France (1954-1957), directeur général et président du groupe Sema (1958-1975), directeur du projet Interfuturs à l'OCDE (1976-1979), professeur d'économie (1974-1998) et président du département Économie et gestion au Conservatoire national des arts et métiers (1974-1991). Il a présidé notamment l'Association française de science économique (1981-1983) et FutuRIS, et l'International federation of operational research societies (Ifors) (1986-1989). Il préside l'association Futuribles.

Il a publié de nombreux ouvrages d'économie et de prospective.

Le 31 décembre 2008, il est élevé au grade de Commandeur de la Légion d'honneur sur le contingent de la présidence de la République.

Jean-Louis Le Moigne

Jean-Louis Le Moigne (22 mars 1931 à Casablanca -) est un spécialiste français de la systémique et de l'épistémologie constructiviste; d'abord ingénieur, puis professeur d'université.

Domaines de recherches privilégiés : caractérisés par les titres de ses principaux ouvrages et articles - sciences des systèmes et sciences de l'ingénierie, - sciences de la computation (informatique et intelligence artificielle), - sciences de l'organisation, - sciences de l'information, - sciences de la décision, - sciences de la cognition et de la communication, - sciences de gestion, - épistémologie des sciences de la complexité et des sciences d'ingénium

Jean-Louis Le Moigne a développé l'épistémologie constructiviste à travers son ouvrage en trois tomes "Le Constructivisme" et son "Que sais-je ?", "Les Epistémologies constructivistes".

L'Abbé Etienne Bonnot de Condillac

L'Abbé Etienne Bonnot de Condillac (1715-1780) a notamment écrit un ouvrage remarquable intitulé *Traité des Systèmes* (1749). Cet ouvrage dresse tout un cadre de ce qui va devenir l'approche systémique. Ses exemples concernent la science politique.

Vilfredo Pareto

Vilfredo Pareto (né à Paris le 15 juillet 1848 ; décédé à Céligny (Suisse) le 19 août 1923) était un sociologue et économiste italien. Il a apporté de nombreuses contributions importantes dans ces deux matières, particulièrement dans l'étude de la distribution du revenu et dans l'analyse des choix individuels. Il introduisit le concept de l'efficacité et aida le développement du champ de la microéconomie avec des idées telles que la courbe d'indifférence. Il succéda à Léon Walras à la Chaire d'économie politique de l'Université de Lausanne.

Sébastien Le Prestre, marquis de Vauban

Sébastien Le Prestre (1^{er} mai 1633 - 1707) est un homme à multiples visages : ingénieur, architecte militaire, urbaniste, ingénieur hydraulicien et essayiste français, qui préfigure, par nombre de ses écrits, les philosophes du siècle des Lumières. Expert en poliorcétique, il donna au royaume de France « une ceinture de fer » et fut nommé maréchal de France par Louis XIV. La fin de sa vie fut assombrie par l'affaire de la Dîme Royale, qu'il décida de publier, malgré l'interdiction royale : dans cet essai, Vauban proposait un audacieux programme de réforme fiscale pour tenter de résoudre les injustices sociales et les difficultés économiques des « années de misère » de la fin du règne du Roi Soleil. Vauban a voulu faire de la France un pré carré, selon son expression, protégé par une ceinture de citadelles. Il a conçu ou amélioré une centaine de places fortes. L'ingénieur n'avait pas l'ambition de

construire des forteresses inexpugnables, car la stratégie consistait alors à gagner du temps en obligeant l'assaillant à immobiliser des effectifs dix fois supérieurs à ceux de l'assiégé. Il dota la France d'un glacis qui la rendit inviolée durant tout le règne de Louis XIV — à l'exception de la citadelle de Lille qui fut prise une fois — jusqu'à la fin du XVIIIe siècle, où les forteresses furent démodées par les progrès de l'artillerie. Douze ouvrages de Vauban, regroupés au sein du Réseau des sites majeurs de Vauban ont été classés au Patrimoine mondial de l'UNESCO le 7 juillet 2008

Norbert Wiener

Norbert Wiener (né le 26 novembre 1894 à Columbia, Missouri, États-Unis, mort le 18 mars 1964 à Stockholm, Suède) était un mathématicien américain, théoricien et chercheur en mathématiques appliquées, connu, entre autres, pour être le fondateur de la Cybernétique.

Il fut un pionnier dans l'étude de la stochastique et du bruit, contribuant ainsi par ses travaux à l'électrotechnique, les télécommunications et les systèmes de contrôle. Wiener est aussi le fondateur de la cybernétique, une science qui formalise la notion de feedback (rétroaction) et a des implications dans les domaines de l'ingénierie, des contrôles de système, l'informatique, la biologie, la psychologie, la philosophie et l'organisation de la société.

Il exposa ses théories sur la cybernétique dans son livre *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine* (Hermann & Cie Editeurs, Paris, The Technology Press, Cambridge, Mass., John Wiley & Sons Inc., New York, 1948), parution qui bouscula durablement jusqu'au scandale, le monde des idées, traversant la pensée scientifique et philosophique de la deuxième moitié du XXe siècle, dont il est à ce titre, un des grands penseurs.

Gregory Bateson

Gregory Bateson est un anthropologue, psychologue, épistémologue américain, né le 9 mai 1904 à Grantchester au Royaume-Uni et mort le 4 juillet 1980 à San Francisco. Influencé par la cybernétique, la théorie des groupes et celle des types logiques, il s'est beaucoup intéressé à la communication (humaine et animale), mais aussi aux fondements de la connaissance des phénomènes humains. Il est à l'origine de ce que l'on appelle l'école de Palo Alto.

Karl E. Weick et P. Checkland

Karl E. Weick (né le 31 octobre 1936 à Varsovie, Indiana -) est un universitaire américain, professeur de psychologie et professeur en sciences de l'organisation à la Ross School of Business de l'Université du Michigan. Il est considéré comme l'un des théoriciens les plus renommés mondialement de la théorie des organisations.

Peter Checkland (né en 1930) est le développeur de la *Soft Systems Methodology (SSM)*, en français méthodologie douce des systèmes.

Ayant commencé par constater les problèmes rencontrés par la cybernétique dans son application aux systèmes sociaux, il théorisa la nature spécifique de ces systèmes et le besoin d'adapter les règles de l'approche systémique pour les aborder.

Peter Checkland a écrit plusieurs ouvrages qui font date, autant par la précision des fondements théorique que la richesse des études de cas présentées.

Karl E. Weick est parti comme son collègue Peter Checkland de la cybernétique pour concevoir une « systémique de troisième génération » spécifiquement adaptée aux organisations. Inspiré entre autre par Francisco Varela et le concept de l'énaction, il développe une vision originale des organisations (entreprise, groupes sociaux) ainsi que de la meilleure façon d'y conduire des interventions.

Ferdinand de Saussure

Ferdinand de Saussure est un linguiste suisse, né à Genève le 26 novembre 1857 et mort au château de Vufflens-sur-Morges le 22 février 1913. Reconnu comme fondateur du structuralisme en linguistique, il s'est aussi distingué par ses travaux sur les langues indo-européennes.

On estime (surtout en Europe) qu'il a fondé la linguistique moderne et établi les bases de la sémiologie. Dans son *Cours de linguistique générale* (1916), publié après sa mort par ses élèves, il définit certains concepts fondamentaux (distinction entre langage, langue et parole, entre synchronie et diachronie, caractère arbitraire du signe linguistique, etc.) qui inspireront non seulement la linguistique ultérieure

mais aussi d'autres secteurs des sciences humaines comme l'ethnologie, l'analyse littéraire, la philosophie et la psychanalyse lacanienne.

La fin ultime de Saussure est de proposer une théorie cohérente du langage, qui sera à même de saisir son objet avec la plus grande rigueur et netteté possibles, en distinguant le phénomène linguistique de tout phénomène connexe. Cela amène Saussure à distinguer le langage des langues. Par langage, Saussure entend la faculté générale de pouvoir s'exprimer au moyen de signes. Cette faculté n'est pas propre aux langages naturels mais elle caractérise toute forme de communication humaine. Par langue, Saussure entend en revanche un ensemble de signes utilisés par une communauté pour communiquer : le français, l'anglais ou l'allemand, pour ne citer que quelques exemples.

Mais au delà de cette distinction, Saussure différencie en outre le langage et la parole. La parole est, pour lui, l'utilisation concrète des signes linguistiques dans un contexte précis. Par ce concept de parole, Saussure tente de distinguer l'usage concret du langage du langage lui-même, entendu comme ensemble de signes.

Ferdinand de Saussure a toujours insisté sur les rapports entre linguistique et sémiotique. Par sémiotique ou sémiologie, il entend la science sociale qui étudie les signes et symboles de manière générale. Elle s'intéresse, par exemple, aux actes sociaux ou objets sociaux qui ont une signification symbolique (comme les actes de politesse ou les drapeaux nationaux).

La linguistique n'était aux yeux de Saussure qu'une branche de la sémiotique, le langage étant un système de signes. Cependant la linguistique en constitue la branche la plus développée, et la plus importante, en raison de la complexité du langage humain. Ce qui est intéressant de constater c'est que, malgré la nette séparation effectuée entre langage (comme système abstrait de signes) et parole (comme usage concret de ce système), de Saussure a nettement défini la linguistique comme une science sociale, et le langage comme le produit d'une pure convention sociale.

Louis Hjelmslev

Louis Hjelmslev (Copenhague, 3 octobre 1899 - idem, 30 mai 1965), est un linguiste danois qui a prolongé les réflexions de Ferdinand de Saussure en fondant la glossématique. Il était le fils du mathématicien Johannes Hjelmslev (1873-1950).

Maître indiscutable du Cercle linguistique de Copenhague, il est l'un des pionniers du structuralisme et le fondateur de la glossématique, théorie linguistique de tournure structuraliste qui porte à ses ultimes conséquences les postulats du Cours de linguistique générale de Ferdinand de Saussure.

Parmi ses œuvres il convient de citer : *Principes de grammaire générale* (1928), et *Prolégomènes à une théorie du langage* (en danois : *Omkring Sprogteoriens Grundlæggelse*) (1943).

Il fonde en 1937 avec Brondal la revue *Acta Linguistica*, plus tard renommée *Acta Linguistica Hafniensia* ; c'était à l'époque la seule revue explicitement dédiée au structuralisme.

Roman Jakobson

Roman Ossipovich Jakobson (11 octobre 1896 - 18 juillet 1982) fut un penseur russe qui devint l'un des linguistes les plus influents du XXe siècle en posant les premières pierres du développement de l'analyse structurelle du langage, de la poésie et de l'art.

Le schéma de Jakobson est un modèle décrivant les différentes fonctions du langage. Il a été développé à la suite des études de Karl Bühler, dont le modèle se limitait aux fonctions émotive, conative et référentielle.

Schéma de la communication verbale, d'après Jakobson. À chacun des six facteurs inaliénables à la communication correspondent six fonctions du langage (mises entre parenthèses).

Noam Chomsky

Noam Chomsky, né Avram Noam Chomsky le 7 décembre 1928 à Philadelphie en Pennsylvanie, est professeur émérite de linguistique au Massachusetts Institute of Technology. Considéré comme le fondateur de la grammaire générative et transformationnelle, il est également célèbre pour son engagement politique et se définit lui-même comme un anarchiste socialiste.

La grammaire générative, qui se distingue par sa recherche des structures innées du langage naturel, est souvent décrite comme la contribution la plus importante dans le domaine de la linguistique théorique du XXe siècle. Les deux textes fondateurs de l'école générative sont *Syntactic Structures* (Structures syntaxiques) en 1957 et *Aspects of the Theory of Syntax* (Aspect de la théorie syntaxique) en 1965, et dont la théorie est abordée dans *Language and Mind* (Le Langage et la pensée). Ses travaux les plus récents ont pour thème le « programme minimaliste » en sciences cognitives.

Le travail de Chomsky a joué un rôle important dans la révolution cognitive. Sa critique du *Verbal Behavior* (« Comportement verbal ») de Skinner, a remis en question l'approche comportementale de l'étude de l'esprit et du langage, qui dominait dans les années 1950. Son approche naturaliste de l'étude du langage a également eu un impact sur les philosophies du langage et de l'esprit. On lui attribue également d'avoir établi la classification des langages formels par leur pouvoir de génération, dite hiérarchie de Chomsky.

Claude Lévi-Strauss

Claude Lévi-Strauss, né le 28 novembre 1908 à Bruxelles[1], est un anthropologue, ethnologue et philosophe français. Professeur honoraire au Collège de France, dont il a occupé la chaire d'anthropologie sociale de 1959 à 1982, et membre de l'Académie française, dont il est devenu le premier centenaire[2], il compte parmi les premiers théoriciens de la pensée structuraliste.

Depuis ses premiers travaux sur les Indiens du Brésil, qu'il a étudiés sur le terrain entre 1935 et 1939, et la publication de sa thèse *Les Structures élémentaires de la parenté* en 1949, il a produit une œuvre scientifique dont les apports ont été reconnus au plan international. Il a ainsi consacré une tétralogie, les *Mythologiques*, à l'étude des mythes. Mais il a également publié des ouvrages qui sortent du strict cadre des études académiques, dont le plus célèbre, *Tristes Tropiques*, publié en 1955, l'a fait connaître et apprécier d'un vaste cercle de lecteurs.

Jean Piaget

Jean William Fritz Piaget, (9 août 1896 à Neuchâtel - mort le 16 septembre 1980 à Genève), est un psychologue, biologiste, logicien et épistémologue suisse connu pour ses travaux en psychologie du développement et en épistémologie avec ce qu'il a appelé l'épistémologie génétique.

Piaget reprend dans ses explications théoriques des concepts balwinieniens tels que l'adaptation par assimilation/accommodation et la réaction circulaire. Il s'appuie sur les travaux de Binet et les enrichit à la demande de Simon.

Sa théorie est inspirée par la philosophie évolutionniste de Spencer et la philosophie de Kant. Elle est aussi une théorie constructiviste originale de la genèse de l'intelligence et des connaissances humaines qui permet à Piaget d'établir des liens étroits entre le problème biologique de l'évolution et de l'adaptation des espèces et le problème psychologique du développement de l'intelligence.

Selon Piaget, l'origine de la pensée humaine ne naît pas de la simple sensation, elle n'est pas non plus un élément inné. Elle se construit progressivement lorsque l'individu, et en particulier l'enfant, entre en contact avec le monde. Grâce à ces contacts répétés l'enfant développe des unités élémentaires de l'activité intellectuelle, appelés schèmes.

Un schème est une entité abstraite qui est l'organisation d'une action (ex. la succion). Les schèmes se transforment en devenant plus généraux (succion d'autres objets), plus nombreux et donc deviennent plus « mobiles ». Ils se combinent dans une organisation de type moyen-but (ex. le râteau pour prendre un objet). Selon Piaget, les schèmes sont un ensemble organisé de mouvements (sucrer, tirer, pousser...) ou d'opérations (sérieur, classer, mesurer...) dont l'enfant dispose (dans le premier cas), ou qu'il acquiert et développe par son interaction avec le monde environnant.

Ces schèmes s'ancrent dans l'esprit, lorsque l'expérience les conforte, ou se modifient lorsqu'ils sont contredits par les faits.

A chaque fois que l'individu perçoit un objet (qui peut être physique ou une idée), il essaie de l'assimiler. Si cette assimilation, c'est-à-dire l'intégration de l'objet à un schème psychologique préexistant échoue, alors commence un processus d'accommodation. En d'autres termes l'assimilation est un mécanisme consistant à intégrer un nou-

vel objet ou une nouvelle situation à un ensemble d'objets ou à une situation pour lesquels il existe déjà un schème, alors que l'accommodation est un mécanisme consistant à modifier un schème existant afin de pouvoir intégrer un nouvel objet ou une nouvelle situation. L'équilibration est l'autorégulation entre assimilation et accommodation. C'est un processus qui permet de passer d'un état d'équilibre psychologique à un autre, qualitativement différent, en passant par de multiples déséquilibres et rééquilibrations.

Il est contre les concepts de l'innéisme. Piaget tente de modéliser le développement de l'intelligence sur la base de principes logiques. L'enfant est un logicien en herbe, qui donne un sens aux objets en faisant émerger leurs propriétés et fonctions. Il réinvente le monde physique. On parle de constructivisme. Piaget parle d'actions extériorisées et intériorisées. Tout cela sont des conceptions physiques.

La logique et les mathématiques sont le raisonnement. Le raisonnement est la forme optimale de l'adaptation biologique, donc du cerveau.

André Marie Ampère

André-Marie Ampère, né à Lyon le 20 janvier 1775 et mort à Marseille le 10 juin 1836, est un mathématicien et physicien français. Il inventa le premier télégraphe électrique et, avec François Arago, l'électroaimant, et il énonça en 1827 la théorie de l'électromagnétisme. Son nom a été donné à l'unité internationale de courant électrique : l'ampère.

Arturo Rosenblueth

Arturo Rosenblueth (1900-1970) est un chercheur mexicain, physiologiste et physicien.

Il obtient en 1930 le prix Guggenheim, entre au département de physiologie de l'université de Harvard, alors dirigé par Walter Cannon, avec qui il travaillera en 1934 sur les échanges chimiques du système nerveux.

De 1931 à 1945, il travaille avec de nombreux spécialistes comme del Pozo, H.G. Schwartz, et Norbert Wiener, et écrira avec Wiener et Julian Bigelow *Behavior, Purpose and Teleology*, qui jettera les bases de la cybernétique.

John von Neumann

John von Neumann (1903-1957), mathématicien et physicien américain d'origine hongroise, a apporté d'importantes contributions tant en mécanique quantique, qu'en analyse fonctionnelle, en théorie des ensembles, en informatique, en sciences économiques ainsi que dans beaucoup d'autres domaines des mathématiques et de la physique.

On doit à von Neumann la notion d'ensemble transitif, ainsi qu'une définition précise et simple de la notion de nombre ordinal en théorie des ensembles, qui permet en particulier la construction des entiers naturels (on parle alors d'ordinal de von Neumann, ou d'entier de von Neumann).

Von Neumann, en 1926, s'attaque à l'axiomatisation de la mécanique quantique et réalise rapidement qu'un système quantique peut-être considéré comme un point dans un espace de Hilbert analogue de dimension $6N$ (où N est le nombre de particules, 3 coordonnées spatiales et 3 coordonnées canoniques). Les quantités physiques traditionnelles (position et énergie) peuvent être remplacés par des opérateurs linéaires dans ces espaces.

La physique quantique est désormais réductible aux mathématiques des opérateurs hermitiens linéaires dans un espace de Hilbert.

Sa contribution significative en économie, en 1928, est le théorème du minimax qui énonce que, dans un jeu à somme nulle avec information parfaite (chaque joueur connaît les stratégies ouvertes à son adversaire et leurs conséquences), chacun dispose d'un ensemble de stratégies privilégiées (« optimales »). Entre deux joueurs rationnels, il n'y a rien de mieux à faire pour chacun que choisir une de ces stratégies optimales et s'y tenir.

Von Neumann améliore par la suite sa théorie pour y inclure les jeux avec asymétrie d'information et les jeux avec plus de deux joueurs. Son travail aboutit en 1944 avec la publication, en collaboration avec Oskar Morgenstern, de ce qui est devenu un classique de l'économie : *La Théorie des jeux et comportements économiques* (*The Theory of Games and Economic Behavior*).

En 1937, peu après l'obtention de la citoyenneté américaine, il s'intéresse aux mathématiques appliquées, devient rapidement l'un des principaux experts en matière d'explosifs et est conseiller de l'US Navy. L'une de ses découvertes tient à ce que des bombes de « large dimension » ont un effet dévastateur plus important si elles explosent en hauteur plutôt qu'au sol. Cela sera mis en pratique lors de l'explosion des premières bombes atomiques les 6 et 9 août 1945, von Neumann ayant calculé l'altitude précise pour maximiser l'étendue des dommages causés.

Le développement des bombes A et H nécessite un nombre très important de calculs. C'est surtout dans ce domaine que l'apport de von Neumann va être essentiel.

Julian Bigelow

Julian Bigelow (né en 1913, mort en 2003) est un pionnier de l'ingénierie l'informatique.

Diplômé en ingénierie électrique et en mathématique du Massachusetts Institute of Technology, il assiste Norbert Wiener dans ces recherches sur le contrôle autonome des missiles anti-aérien pendant la Seconde Guerre mondiale.

Il travaille avec Norbert Wiener et Arturo Rosenblueth sur un des articles fondateur de la cybernétique et de la téléologie moderne, intitulé "Behavior, Purpose and Teleology", publié en 1943. Cet article explique comment mécanique, biologie et système électronique peuvent interagir. Il mène à la formation de la société téléologique, et aux conférences Macy. Bigelow était un membre actif de ces deux organisations.

John von Neumann lui propose la conception du tout premier ordinateur à l'Institute for Advanced Study de Princeton, et il en devient l'ingénieur principal en 1946 sur les recommandations de Wiener. La primauté de cet ordinateur appelé "IAS," sur l'ENIAC est défendue par Dyson (1997) mais von Neumann ne l'a pas breveté.

Warren McCulloch

Warren Sturgis McCulloch, né le 16 novembre 1898 à Orange (New Jersey) et décédé le 24 septembre 1969 à Cambridge (Massachusetts) était un chercheur en neurologie américain.

Il est l'initiateur des rencontres interdisciplinaires, dites Conférences Macy, qui réunirent certains des plus grands esprits de l'époque entre 1942 et 1953 et qui furent à l'origine de la cybernétique.

Il a établi la propriété suivante : lorsqu'un neurone cérébral A est relié directement à un neurone cérébral B, il existe toujours une liaison, soit directe soit indirecte, allant également de B vers A.

Il fut le chef des laboratoires de la faculté de médecine à Harvard Chicago avant de poursuivre sa carrière au MIT. En 1943, il écrit avec Walter Pitts « A logical calculus of the Ideas Immanent in Nervous activity », Bulletin of Mathematical Biophysics, University of Chicago Press. En introduisant le caractère de « tout ou rien » dans la description de l'activation du système neuronal, il situe celui-ci dans la catégorie des modèles logiques (ceci l'amènera à la théorie des automates et ouvrira à l'élaboration d'automates « auto-régulés »). Comme Alan Turing, il considère les fonctions de l'esprit comme une fonction mathématique (un opérateur transformant des entrées en des sorties). Il propose l'idée de « neurones aléatoires ». Cette approche n'est plus simplement behavioriste (qui ne s'intéresse qu'aux entrées et sorties : stimuli => réponses), mais aussi structuro-fonctionnaliste. Une de ses conférences « Finality and form in Nervous activity » fut publiée en 1952.

Walter Pitts

Le Walter Pitts (1923 - du 23 avril 1969 du 14 mai) était un logicien qui a travaillé dans le domaine de la psychologie cognitive . Il a proposé les formulations théoriques de borne limite de l'activité neurale et les processus émergents qui ont influencé les champs divers comme les sciences cognitives et la psychologie, la philosophie, les neurologies, de l'informatique, les réseaux neurologiques artificiels, la cybernétique et l'intelligence artificielle, ensemble de ce qui est venu pour être connu comme sciences génératives. On se rappelle plus le pour avoir écrit avec le Warren McCulloch , le papier séminal dans l'histoire scientifique appelée le " ; Un calcul logique des idées immanentes dans Activity" nerveux ; (1943).

Lawrence Kubie

Lawrence Schlesinger Kubie (1896-1973) est un neurologue et psychothérapeute américain connu notamment pour ses travaux sur l'hypnose.

Dans ses articles de 1930 et 1941, Kubie propose la théorie des « circuits fermés réverbérants » comme possible soubassement neurophysiologique des névroses, qui fut reprise par Warren McCulloch. John Z. Young testa cette théorie sur le poulpe et ses travaux furent discutés lors de la 9e conférence Macy.

Kubie participe aux conférences Macy de 1942 à 1953. Lors des conférences, il remet sans cesse sur le tapis la question du siège de la notion d'inconscient et doit souvent affronter les autres participants. « Ou un événement se produit, ou il ne se produit pas » lui rétorque notamment Arturo Rosenblueth.

Kubie étudie l'hypnose de 1941 à 1969, notamment avec le psychiatre Richard Brickner (1896-1959). Kubie a joué un rôle très important pour faire connaître les travaux sur l'hypnose de Milton Erickson, avec qui il a co-signé plusieurs articles. C'est lui qui invite Erickson à la première des conférences Macy en 1942.

Margaret Mead

Margaret Mead (1901 à Philadelphie - 1978 à New York) est une anthropologue américaine. Connue pour être très engagée, elle a participé activement à promouvoir la dimension humaniste de l'anthropologie.

Elle publie en 1928 l'ouvrage Coming of Age in Samoa, qui est le résultat de ce qu'elle présente comme une longue enquête de terrain, et qui va devenir un véritable best-seller .

Mead y décrit une société de tolérance, sans conflit, où « l'activité sexuelle est une chose naturelle et agréable » à laquelle les adolescents, en particulier, s'adonnent librement. Cette vision de l'amour sous les palmiers, qui n'était pas sans rappeler les Supplément au voyage de Cook et Supplément au voyage de Bougainville fit néanmoins l'effet d'une bombe dans l'Amérique puritaine des années 1920. Mead, de cette façon, confortera l'hypothèse culturaliste.

Szolem Mandelbrojt

Szolem Mandelbrojt, né à Varsovie le 20 janvier 1899 et mort à Paris le 23 septembre 1983 est un mathématicien français d'origine polonaise. Il est membre fondateur du groupe Bourbaki.

Il est titulaire de la chaire de mathématique et mécanique au Collège de France de 1938 à 1972. Il est élu membre de l'Académie des sciences en 1972.

Louis Couffignal

Louis Pierre Couffignal (1902-1966) est un mathématicien et cybernéticien français. Il enseigne d'abord dans des lycées du sud-ouest de la Bretagne puis à l'école navale et enfin au lycée Buffon.

Après l'agrégation Couffignal hésite à faire une thèse de logique symbolique mais sa rencontre avec Maurice d'Ocagne le décide à se consacrer aux machines et à la logique mécanique. Il publie diverses notes à l'académie des sciences, en particulier l'emploi de la numération binaire dans la machine à calculer qui pose à nouveau, après Leibniz,

l'emploi de la numération binaire en tant que principe de base des machines à calculer. Il devient docteur ès Sciences en 1938 avec sa thèse L'analyse mécanique, application aux machines à calculer et à la mécanique céleste. Il commence à s'intéresser à la cybernétique, ses rencontres avec Louis Lapicque en 1941 et le cybernéticien Norbert Wiener en 1946 sont déterminantes. Avec Lapicque il compare le fonctionnement du système nerveux et des machines tandis que Wiener prépare son livre Cybernetics, fondation de la cybernétique.

William Ross Ashby

William Ross Ashby (6 septembre 1903, Londres – 15 novembre 1972) est un psychiatre-ingénieur anglais venu très tôt à la cybernétique et son influence est telle que Ludwig von Bertalanffy l'a mentionné pour sa contribution qui a influencé Norbert Wiener, Herbert Alexander Simon et les autres.

De Ashby, la Loi de la variété requise est la plus connue. La "variété" est le dénombrement de la quantité de comportements et d'états différents exhibés par un système.

Pour qu'un système "A" puisse contrôler (à la fois "surveiller" dans la signification française et "commander" dans la signification anglaise) un système "B", il faut et il suffit que la variété de "A" soit supérieure ou au moins égale à celle de "B". Il s'ensuit qu'une "inversion de contrôle" se produit lorsque la variété du "commandé" augmente et dépasse celle du "commandeur". C'est la version cybernétique de la "dialectique du maître et de l'esclave" chez Hegel. À force de travailler au service du maître, l'esclave acquiert de plus en plus de compétences tandis que le maître perd ses compétences initiales à force de se faire servir et, alors, l'esclave devient le maître de son ancien maître qui devient le nouvel esclave de son ancien esclave !

Ashby a beaucoup travaillé sur l'augmentation de l'intelligence et participe aux travaux sur l'intelligence artificielle, sur la complexité reliée à la variété et sur les origines de l'ordre exprimées par le principe de von Foerster "Order from Noise" et le principe de Schrödinger "Order from Order". Le premier est un processus stochastique du hasard et de la nécessité dans la perspective d'une EXPLICATION CYBERNÉTIQUE où une "réponse appropriée" aux contraintes de l'environnement et de contexte a de meilleures chances de survie, de développement et de reproduction parmi toutes les occurrences possibles et le deuxième est un principe d'organisation par extension. Le principe "Order from Noise" est aussi un principe d'auto-organisation et de complexité chez Edgar Morin et Henri Atlan pour qui la condition de l'auto-organisation est la "redondance" initiale élevée qui n'est autre que la "variété" de Ashby.

William Grey Walter

Le Dr William Grey Walter (19 février 1910 - 6 mai 1977) a été un pionnier de la robotique et ses "tortues" préfiguraient les missiles autoguidés et les bombes dites "intelligentes" qui sont des engins à la poursuite d'un but en téléologie. Au départ, c'était un savant en neurophysiologie.

À la fin des années 1940, le Dr Walter a mené des recherches sur les robots automobiles et autonomes à la "Burden Neurological Institute", comme une partie de sa quête d'un modèle du fonctionnement cérébral. Il voulait étudier le fondement des actes réflexes simples. Ensuite, il voulait valider sa théorie des comportements complexes provenant des connexions nerveuses. Pour ses travaux, il a construit deux "tortues" nommées "Elsie" et "Elmer" dont les succès ont inspiré et influencé le départ et le développement de la cybernétique. Ces "tortues" de véritables précurseurs des armes dites intelligentes et des robots industriels d'aujourd'hui. Pendant la Seconde Guerre mondiale, il a travaillé sur les missiles guidés et les technologies du radar. Dans les années 1960, il a continué ses travaux en neurophysiologie.

Alan Turing

Alan Mathison Turing (23 juin 1912 - 7 juin 1954) était un mathématicien britannique auteur de l'article fondateur de la science informatique *On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem* qui allait donner le coup d'envoi à la création de l'ordinateur programmable. Il y présente sa machine de Turing, le premier calculateur universel programmable, et invente les concepts de programmation et de programme. Il est également à l'origine de la formalisation des concepts d'algorithme et de calculabilité qui ont profondément marqué cette discipline. Son modèle a contribué à établir définitivement la thèse Church-Turing qui donne une définition mathématique au concept intuitif de fonction calculable. Durant la Seconde Guerre mondiale, il a dirigé les recherches sur les codes secrets générés par la machine Enigma utilisée par les nazis. Après la guerre, il a travaillé sur un des tout premiers ordinateurs, puis a contribué de manière provocatrice au débat déjà houleux à cette période sur la capacité des machines à penser en établissant le test de Turing. Vers la fin de sa vie, il s'est intéressé à des modèles de morphogenèse du vivant conduisant à ce que l'on appelle les structures de Turing.

Claude Shannon

Claude Elwood Shannon (30 avril 1916 à Gaylord, Michigan - 24 février 2001) est un ingénieur électricien et mathématicien américain. Il est l'un des pères, si ce n'est le père fondateur, de la théorie de l'information. Son nom est attaché à un célèbre « schéma de Shannon » très utilisé en sciences humaines, qu'il a constamment désavoué.

Oskar Morgenstern

Oskar Morgenstern (Görlitz 1902 - Princeton 1977), mathématicien et économiste américain d'origine autrichienne, est professeur à l'université de Vienne de 1929 à 1938 et dirige notamment de 1931 à 1938, l'Institut autrichien d'étude de la conjoncture. Il émigre alors aux États-Unis, enseigne à Princeton jusqu'en 1970, puis à l'université de New York jusqu'à sa mort.

Son oeuvre est assez éclectique. Il travaille à l'application des mathématiques à l'économie et il est, avec John von Neumann, le fondateur de la théorie des jeux. Cependant, on lui doit aussi, une analyse et une typologie des erreurs de mesures en statistiques économiques (1950) ("*Qui numerare incipit errare incipit*" en exergue de l'ouvrage de 1950). Il identifie cinq sources d'erreur dans la mesure de l'activité économique :

1. erreurs de mesure (à la saisie, etc.),
2. mensonges/omissions (conventionnelles, tactiques, stratégiques, etc.),
3. perte d'information par agrégation,
4. économies souterraines (activités non déclarées, illégales ou non)
5. impossibilité de tout représenter.

Plus tard (1970), Clive W. J. Granger et lui proposent une étude des marchés financiers dans laquelle ils démontrent que nul ne peut "dépasser" le marché durablement - c'est-à-dire que personne ne peut faire des plus-values systématiquement et durablement contre le cours du marché.

Sa contribution le situe ainsi à l'intersection des néo-classiques adeptes de la théorie des jeux et des Autrichiens (École autrichienne d'économie), très critiques à l'égard de l'usage des statistiques en prévision économique.

Paul Watzlawick

Paul Watzlawick, né le 25 juillet 1921 à Villach (Autriche) et mort le 31 mars 2007 à Palo Alto (Californie) est un théoricien dans la théorie de la communication et le constructivisme radical, membre fondateur de l'École de Palo Alto.

Psychologue, psychothérapeute, psychanalyste jungien et sociologue, ses travaux ont porté sur thérapie familiale et la psychothérapie générale.

Jean-Pierre Algoud

Enseignant-chercheur, suivant l'expression consacrée, professeur à l'université Jean Moulin, l'innovation porte sur des « découvertes » qui seraient censées permettre une plus grande maîtrise de notre environnement.

Ayant fait le tour de nombreuses forteresses, et en ayant conclu qu'il valait mieux, pour avoir une vision compréhensive, et donc saine, du réel, ne pas en avoir. Il choisit donc de se déplacer entre ces forteresses et de développer une philosophie de vision du réel qu'il qualifie de vision systémique.

Joël de Rosnay

Joël de Rosnay (né le 12 juin 1937 à l'Île Maurice) est, à l'origine, un biologiste français, d'abord spécialiste des origines du vivant et des nouvelles technologies, puis en systémique et en futurologie (ou prospective).

Docteur ès sciences, il effectua trois ans de recherche et d'enseignement (biochimie et informatique) au Massachusetts Institute of Technology (MIT). Ancien directeur des applications de la recherche à l'Institut Pasteur, puis directeur de la prospective et de l'évaluation de la Cité des sciences et de l'industrie de La Villette.

A partir des années 1980, il publie plusieurs ouvrages de vulgarisation et de prospective. Il fonde une société de conseil dont il est actuellement président (Biotics International) tout en restant conseiller du président de la Cité des sciences et de l'industrie de la Villette.

F. J. Richards

Francisco J. Ricardo est associé de recherches, professeurs d'Université et codirecteur des archives visuelles de recherches de Digitals à la Boston University, et enseigne la théorie de médias digital à l'École de l'Île de Rhodes. Sa recherche examine les intersections historiques,

conceptuelles, et de calcul entre les médias contemporains et arts nouveaux.

Rudolf Clausius

Rudolf Julius Emmanuel Clausius (1822, Koszalin - 1888, Bonn) est un physicien allemand célèbre pour ses contributions à la thermodynamique.

Découvrant au hasard de ses recherches l'ouvrage oublié *Réflexions sur la puissance motrice du feu* de Nicolas Léonard Sadi Carnot, il en comprit immédiatement la portée et en assura la promotion auprès des physiciens de son époque. Il a été successivement professeur à Zurich, Würzburg puis à Bonn.

Il précisa l'énoncé de la deuxième loi de la thermodynamique (1850), et inventa le concept d'entropie en 1865.

Clausius justifie son choix dans *Sur diverses formes des équations fondamentales de la théorie mécanique de la chaleur* (1865). Ses travaux sur la thermodynamique lui valurent la médaille Copley en 1879.

Ludwig Boltzmann

Ludwig Boltzmann (né Ludwig Eduard Boltzmann le 20 février 1844 à Vienne, Autriche - 5 septembre 1906 à Duino) est un physicien autrichien. Il est considéré comme le père de la physique statistique et un fervent défenseur de l'existence des atomes. Validant l'hypothèse de Démocrite selon laquelle « la matière peut être considérée comme un ensemble d'entités indivisibles », Boltzmann, à l'aide de son équation cinétique dite « de Boltzmann », a théorisé de nombreuses équations de mécanique des fluides.

Au cours de sa carrière de physicien, Boltzmann eut également l'occasion d'adopter un point de vue philosophique plus général sur les sciences. Tout en s'inscrivant pleinement dans la tradition de philosophie des sciences autrichiennes, ses positions peuvent également être considérées tout à la fois comme une anticipation des conceptions de Thomas Kuhn relatives aux révolutions scientifiques. Partisan d'une approche évolutionniste inspirée des travaux de Charles Darwin, Boltzmann considère les théories scientifiques comme autant d'« images du monde » susceptibles d'évoluer en fonction de notre cadre culturel. Il développe également la thèse selon laquelle la connaissance consiste principalement en une élaboration de modèles, et il systématise cette idée dans l'article *Modèle* qu'il rédige pour l'*Encyclopaedia Britannica*. Ces conceptions exerceront une influence décisive sur le positivisme logique du Cercle de Vienne, ainsi que sur Ludwig Wittgenstein qui reconnaîtra en lui l'une de ses influences principales.

Kurt Gödel

Kurt Gödel (28 avril 1906 - 14 janvier 1978) est un mathématicien et logicien austro-américain.

Le plus souvent considéré comme Autrichien, il est né à Brno en Autriche-Hongrie, naturalisé Tchécoslovaque à 12 ans, puis Autrichien à 23 ans. Lorsque Hitler ordonne l'annexion de l'Autriche, Gödel devient Allemand (il a alors 32 ans). Il part aux États-Unis pendant la Seconde Guerre mondiale, et il obtient la double nationalité austro-américaine à 42 ans.

Il a publié ses résultats les plus importants en 1931 à l'âge de 25 ans, alors qu'il travaillait encore pour l'Université de Vienne (Autriche).

Il prouve la complétude de la logique classique du premier ordre, c'est-à-dire que toute formule valide est démontrable, résultat qui fut publié par l'Académie des Sciences de Vienne. En 1931, il publie son célèbre théorème d'incomplétude dans *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme*. Il prouve dans cet article que pour tout système axiomatique assez puissant pour décrire les nombres naturels, on peut affirmer que :

1. Il ne peut être à la fois cohérent et complet (ce qui est le théorème connu sous le nom de Théorème d'incomplétude.)
2. Si le système est cohérent, alors la cohérence des axiomes ne peut pas être prouvée au sein même du système.

Le principe du théorème d'incomplétude est simple. Gödel a essentiellement bâti une formule qui énonce qu'elle n'est pas démontrable dans un système formel donné. Si cette formule est démontrable, alors elle n'est pas démontrable, d'où la contradiction. Donc cette

formule n'est pas démontrable, donc valide. Il existe donc une formule valide, non démontrable.

Il poursuit ses travaux de logicien, et publia en 1940 *The Consistency of the Axiom of Choice and of the Generalized Continuum-Hypothesis with the Axioms of Set Theory*. Il introduit dans ce travail la notion d'univers constructible, modèle de la théorie des ensembles dans lequel les seuls ensembles existants sont ceux qui peuvent être construits à partir d'ensembles plus élémentaires. Gödel prouva qu'aussi bien les axiomes de choix et l'hypothèse généralisée du continu sont vraies dans un univers constructible, et doivent donc être cohérentes. Il eut l'intuition des problèmes NP-complets.

À la fin des années 1940, il démontra l'existence d'une solution paradoxale aux équations de la théorie de la relativité générale d'Einstein. Les « univers tournants » auraient rendu possible le voyage dans le temps, et poussèrent Einstein à douter de sa propre théorie. Aujourd'hui, ce type de solution est considéré comme une curiosité mathématique sans grand intérêt physique, mais dont le grand mérite est d'avoir stimulé la recherche d'autres solutions exactes aux équations d'Einstein.

Gödel, en plus de sa croyance divine, s'interrogeait sur l'existence des anges et démons dans un univers mathématique, un univers idéal, par opposition à l'univers réel perceptible, dans lequel vivraient les 'anges' et 'démons', comme nous vivons dans l'univers réel. Ceci était une conséquence de ses réflexions sur l'intuition et l'incomplétude, puisque l'intuition a parfois produit des thèses mathématiques ne pouvant être prouvées ou infirmées mathématiquement. Il considérait que soit le cerveau est une machine de Turing, et il existe donc des problèmes indécidables pour l'humain, ce qui signifie que « les propriétés mathématiques qui nous échappent ont une existence autonome », soit le cerveau surpasse les machines de Turing, et donc l'esprit humain est « une réalité indépendante du monde sensible »

Anecdote : Lorsque Gödel est arrivé aux États-Unis, celui-ci dut subir un examen pour sa naturalisation. Lors de sa préparation, Gödel examina la constitution américaine et trouva des incohérences logiques dans cette dernière qui permettaient, en toute légalité, de transformer le régime politique du pays en régime dictatorial. Il fit part de sa découverte à son ami Oskar Morgenstern qui lui conseilla de ne pas aborder le sujet lors de son entretien avec l'officier de l'immigration.

Louis Lopicque

Louis Édouard Lopicque, né le 1er août 1866 à Épinal et mort le 7 décembre 1952 à Paris, était un physiologiste français, spécialiste du système nerveux et connu pour sa découverte de la chronaxie.

La chronaxie, dans le cadre de la description mathématique du fonctionnement du système nerveux, est la durée minimale du courant électrique (d'une intensité double de la rhéobase) nécessaire pour stimuler une fibre musculaire, ou une cellule nerveuse.

Marvin Minsky

Marvin Lee Minsky (né le 9 août 1927) est un scientifique américain. Il travaille dans le domaine des sciences cognitives et de l'intelligence artificielle. Il est également cofondateur, avec l'informaticien John McCarthy du Groupe d'intelligence artificielle du Massachusetts Institute of Technology (MIT) et auteur de nombreuses publications aussi bien en intelligence artificielle qu'en philosophie comme, par exemple, *La Société de l'Esprit* (*The Society of Mind*). Son dernier ouvrage, *The Emotion Machine*, non publié en français, propose de nouveaux développements sur ces théories.

Marvin Minsky défend l'idée que l'intelligence artificielle doit utiliser des approches multiples, notamment pour la représentation des connaissances, au lieu de se limiter à une seule approche qui serait censée être la meilleure. Les systèmes doivent disposer de "gestionnaires", capable de sélectionner les meilleures solutions à un problème donné.

Les nemes sont des agents représentant les connaissances, alors que les nomes sont des agents capables de traiter les connaissances. Les polynemes permettent d'activer des agences représentant des aspects différents d'un même objet. Les paranomes permettent de manipuler simultanément différents modes de représentations des connaissances.

Ces agents de base vont se combiner pour former des agences de plus grande taille capables d'opérations complexes (frames, frame-arrays, transframes). Minsky introduit la notion de "cerveau B", dont le rôle est de surveiller et d'examiner non pas le monde extérieur, mais l'esprit lui-même (cerveau A), en corrigeant les erreurs ou en mettant fin à une activité mentale improductive (boucles, répétitions). Cette division de l'esprit en "niveaux de réflexion" fait l'objet de nouveaux développements dans les travaux plus récents de Minsky.

Un système intelligent disposera de deux types d'agents, des spécialistes et des gestionnaires. Les spécialistes peuvent implémenter les techniques connues d'intelligence artificielle pour résoudre des problèmes précis (systèmes à base de règles, réseaux sémantiques, réseaux bayésiens). Les gestionnaires sont chargés de planifier, de sélectionner les spécialistes, d'évaluer les résultats obtenus.

Allen Newell

Allen Newell, né le 19 mars 1927, mort le 19 juillet 1992, était un chercheur en informatique et psychologie cognitive à la compagnie RAND et à la Carnegie-Mellon's School of Computer Science. Il a contribué à the Information Processing Language (1956) et à deux des premiers programmes en IA, the Logic Theory Machine (1956) et le General Problem Solver (1957) (avec Herbert Simon).

SOAR est une tentative de réaliser quelques-unes des considérations de Newell qui désirait une théorie unifiée de la connaissance, baptisée, "You can't play twenty questions with nature and win," (1973). Il existe d'autres architectures cognitives du même genre, notamment celle du psychologue cognitiviste John R. Anderson, la théorie ACT-R, laquelle est devenue une théorie unifiée populaire, utilisée aujourd'hui avec succès par les scientifiques cognitifs pour modéliser le comportement humain dans un large champs d'activités.

Humberto Maturana

Humberto Maturana est un biologiste, cybernéticien et philosophe chilien, né le 14 septembre 1928 à Santiago du Chili.

Il a passé sa carrière à élaborer sa théorie au sein d'un projet de recherche biologique dans son laboratoire de Santiago (au sujet duquel il a écrit Experimental Epistemology Lab). Après des recherches en biologie de la perception, Maturana a développé la biologie de la cognition et la biologie de l'amour.

Son travail s'inscrit dans le courant constructiviste, produisant des preuves expérimentales que la réalité est une construction consensuelle commune qui apparaît en fait comme existant « objective-ment ».

Avec son collaborateur Francisco Varela, il a proposé la théorie de l'Autopoïèse dans le prolongement de William Bateson, Ludwig Wittgenstein, Paul Weiss (notion d'autoproduction), etc...

Francisco Varela

Francisco Varela (Santiago du Chili, 7 septembre 1946 – Paris, 28 mai 2001) biologiste, neurologue et philosophe chilien.

Disciple et collaborateur de Humberto Maturana, il inventa avec lui le concept d'autopoïèse. Il est l'auteur de nombreux ouvrages, dont Autonomie et connaissance. Dans un souci de dépasser le dualisme qui oppose subjectivisme et objectivisme, il proposera le concept d'énaction ou cognition incarnée qui permet d'appréhender l'action adaptative de tout organisme vivant comme polarité connaissance/action et action/connaissance.

Ph. D. de biologie de l'université de Harvard, il fut directeur de recherche au CNRS et membre du Centre de recherche en épistémologie appliquée de l'École Polytechnique.

Il a fait partie du Mind and Life Institute, qui facilite les rencontres entre la science et le bouddhisme.

Ilya Prigogine

Ilya Prigogine (25 janvier 1917 - 28 mai 2003), physicien et chimiste belge d'origine russe, né à Moscou reçut le prix Nobel de chimie en 1977, après avoir reçu la Médaille Rumford en 1976. Il étudia la chimie à l'université libre de Bruxelles en Belgique.

Il est connu surtout pour sa présentation sur les structures dissipatives et l'auto-organisation des systèmes, qui ont changé les approches par rapport aux théories classiques basées sur l'entropie. Jusqu'à Pri-

gogine, la thermodynamique classique considérait les phénomènes comme théoriquement réversibles, ce qui est en contradiction flagrante avec l'expérience courante. En fondant l'irréversibilité des phénomènes temporels, Prigogine a réconcilié la physique avec le sens commun, tout en faisant date dans l'histoire de la thermodynamique.

Il co-fonda le centre qui porte son nom à l'université du Texas à Austin.

Ilya Prigogine expliqua ainsi son parcours : jeune émigré de Moscou, exilé en Belgique à Bruxelles, il voulut comprendre comment on arrivait à devoir fuir son propre pays. Il aborda la politique mais fut contraint d'étudier le droit. Voulant comprendre le comportement d'un accusé, il étudia la psychologie. Pour comprendre clairement la psychologie et la science du comportement, il butta sur le fonctionnement du cerveau humain. Ainsi, il étudia la biologie, la chimie et enfin la biochimie. En poussant plus loin pour comprendre les interactions chimiques, il étudia la physique des particules. De la physique, il passa à l'astrophysique et à la cosmologie. Il aborda alors les questions fondamentales : la matière, le vide, le temps et son sens unique (la flèche du temps). Pour comprendre la flèche du temps il dut étudier les structures dissipatives.

Heinz von Foerster

Heinz von Foerster (Vienne, le 13 novembre 1911 - Pescadero, Californie, le 2 octobre 2002) est un scientifique situé à la croisée de la physique et de la philosophie. Il fut l'un des fondateurs de la cybernétique de deuxième ordre et un contributeur important du constructivisme radical. Il est aussi connu pour son intérêt pour l'informatique musicale et la magie.

Von Foerster étudia la physique à Université technique de Vienne et à l'Université de Breslau dans les années 30. Il est influencé par le Cercle de Vienne et par Ludwig Wittgenstein. En 1938, il travaille dans un laboratoire de recherche pour Siemens et, de 1939 à 1945, il effectue des travaux de recherche pour GEMA à Berlin. De 1945 à 1949, von Foerster participe à Vienne à une radio des forces Américaines. Il interviewe des artistes et des scientifiques dont le psychiatre Viktor Frankl. Ce dernier l'aide à publier The Memory - a Quantum Mechanical Treatise.

Il émigre aux É.-U. en février 1949 et devient professeur à l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign. À son arrivée aux États-Unis, il est invité par le neurologue Warren McCulloch à partir de mars 1949 à participer aux célèbres conférences Macy dont il devient vite le secrétaire. Dans les années 50, il part étudier la biologie au Mexique pendant six mois avec Arturo Rosenblueth.

En 1958, il forme le Biological Computer Lab, pour étudier les similarités en termes cybernétiques entre la biologie et l'électronique. Il dirige le BCL jusqu'en 1975.

En 1976, von Foerster se lie au Mental Research Institute of Palo Alto lors de la deuxième conférence à la mémoire de Donald D. Jackson où il fait un exposé sur la portée des fondements du constructivisme radical sur la psychothérapie.

Heinz von Foerster travailla conjointement avec William Ross Ashby, John von Neumann, Norbert Wiener, Humberto Maturana, Francisco Varela, Ernst von Glasersfeld, Gordon Pask, Gregory Bateson et Margaret Mead, parmi beaucoup d'autres. Il fut l'éditeur de la Cybernetique (1949-1953) en quatre volumes.

Jean-Claude Lugan

Jean-Claude Lugan (1939) Professeur à l'université des sciences sociales de Toulouse, spécialiste reconnu des politiques territoriales et du processus de décision dans les collectivités locales. Jean-Claude Lugan est fait chevalier de la Légion d'honneur en 2000.

Docteur de troisième cycle de sociologie, docteur d'Etat es lettres et sciences humaines, diplômé de l'Institut d'Etudes politiques de Toulouse et de l'Institut d'études européennes de Turin, Jean-Claude Lugan est professeur (de première classe depuis 1992), à l'université des sciences sociales de Toulouse.

Chercheur, et à ce titre auteur de très nombreux ouvrages faisant référence, il est cofondateur et responsable du centre interdisciplinaire de recherche sur les systèmes sociaux, fondateur et responsable de deux DESS (diplôme d'études supérieures spécialisées), responsable du groupe de travail sur les théories des systèmes sociaux et cumule encore d'autres hautes responsabilités.

Ce brillant universitaire est évidemment, en plus, chargé de cours, en licence, maîtrise, DESS et DEA (Diplôme d'études approfondies), encadre le travail des étudiants en doctorat, consacre énormément de temps à la recherche et participe à de très fréquents séminaires internationaux.

Agé de 70 ans, marié et père de deux enfants, Jean-Claude Lukan, déjà titulaire de la rosette des palmes académiques, est un spécialiste reconnu des politiques territoriales et du processus de décision dans les collectivités locales, mélangeant à ce titre, en parfaite harmonie, sa vocation d'universitaire et son expérience d'élu local.

10. RÉFÉRENCES

Ludwig von Bertalanffy, (1934) Untersuchungen über die Gesetzmäßigkeit des Wachstums. I. Allgemeine Grundlagen der Theorie; mathematische und physiologische Gesetzmäßigkeiten des Wachstums bei Wassertieren. Arch. Entwicklungsmech., 131:613-652.

Ludwig von Bertalanffy, Théorie générale des systèmes (Dunod, 1973)
Ludwig von Bertalanffy, General System Theory : Foundations, Development, Applications (George Braziller, 1976)

Mark Davidson, 'Uncommon Sense: The Life and Thought of Ludwig Von Bertalanffy (1901-1972, Father of General Systems Theory) (J. P. Tarcher, 1983)

Jean-Pierre Dupuy, Aux origines des sciences cognitives, La Découverte, 1994, p. 42

André-Marie Ampère, Essai sur la philosophie des sciences ou Exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines, 1834

Norbert Wiener, Cybernétique et Société, 1952 : « Par ailleurs j'ai trouvé par la suite que ce mot avait été déjà employé par Ampère en référence à la science politique, et qu'il avait été introduit dans un autre contexte par un savant polonais, cet emploi dans les deux cas datant des premières années du dix-neuvième siècle »

Norbert Wiener, Cybernétique et Société, 1952

Jean-Baptiste Waldner, « Les nouvelles perspectives de la production, Dunod Bordas, 1990 [1] », 1990, p. p8

Jean-Baptiste Waldner, « Principles of Computer Integrated Manufacturing, John Wiley & Sons, 1992 [2] », 1992, p. p6

Louis Couffignal, Trait d'union entre bastide et cybernétique von Foerster, 1974, p.28

Edgar Morin, La Méthode (tome I, la nature de la nature p.11); qui complète la citation précédente

Gregory Bateson, 1980, pp. 155-167

Bateson, 1980, pp. 155-156

Ludwig von Bertalanffy, General System Theory. Foundations, Development, Applications, George Braziller, New York, 1968, p. 132

BIBLIOGRAPHIE

Théorie générale des systèmes (trad 1972-73 de General System theory) (ISBN 978-2040075040, ISBN 978-2100018413 et ISBN 978-2100063499)

Les problèmes de la vie : essai sur la pensée biologique moderne

Publications sur la General System Theory

1945, (de) Zu einer allgemeinen Systemlehre, Blätter für deutsche Philosophie, 3/4. (Extract in: Biologia Generalis, 19 (1949), 139-164.

1950, (en) An Outline of General System Theory, British Journal for the Philosophy of Science 1, p.139-164

1951, (en) General system theory - A new approach to unity of science (Symposium), Human Biology, Dec 1951, Vol. 23, p. 303-361.

Philippe Descola, Par delà nature et culture, 2006, Gallimard, Paris

Clifford Geertz, Savoir local, savoir global. Les lieux du savoir, 1986, PUF, Paris

Philippe Descola, Gérard Lenclud, Carlo Severi, Les Idées de l'anthropologie, 1988, Colin, Paris

Jean Copans, Maurice Godelier, L'Anthropologie, science des sociétés primitives?, 1971, Denoël

Marcel Mauss, Manuel d'ethnographie, Payot

Jean Copans, Jean Jamin, Aux origines de l'anthropologie française, 1994, J-M Place, Paris

Emmanuel Kant, Anthropologie du point de vue pragmatique, traduction Michel Foucaud, 1964, Vrin, Paris

Chalma Marie-Claude, L'anthropologie biologique, 1971, PUF, Coll. Que sais-je ?, n° 1023

Henri-Jean Martin, Aux sources de la civilisation européenne. Paris, Albin Michel, 2008. 22,5 cm, 704 p.

Jean-Philippe Cazier [dir.], Abécédaire de Claude Lévi-Strauss, Editions Sils

André-Marie Ampère, Essai sur la philosophie des sciences ou Exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines, 1834

Louis Couffignal, L'analyse mécanique, application aux machines à calculer et à la mécanique céleste, 1938

Louis Couffignal, La Cybernétique, PUF, Que sais-je, n°638, 1er Edition 1963

Louis Couffignal, Essai d'une définition générale de la cybernétique, The First International Congress on Cybernetics, Namur, Belgique, June 26-29, 1956, Gauthier-Villars, Paris, 1958, pp. 46-54.

G.-th. Guilbaud, La Cybernétique, PUF, Que sais-je, n°638, 1er Edition 1954

Céline Lafontaine, L'empire cybernétique : Des machines à penser à la pensée machine, Seuil, Paris, 2004

Aurel David, La cybernétique et l'humain, 1965, Collection idées, Gallimard (préface de Louis Couffignal)

Jean-Jacques Wittezaele et Teresa Garcia, À la recherche de l'École de Palo-Alto, Seuil, Paris, 1992, (ISBN 2020136260)

Jean-Pierre Dupuy, Aux origines des sciences cognitives, La découverte, 1994

Ludwig von Bertalanffy, Théorie générale des systèmes, Dunod, 1973

Daniel Durand, 'La systémique', PUF, Que sais-je ?, 1979.