

# Introduction à la Systémique

**Le XX<sup>ème</sup> siècle aura connu un important changement de méthode : l'apparition du paradigme systémique, venant compléter le paradigme analytique – ou comment l'on est passé de la métaphore fondationnelle du bâtiment à la métaphore organisationnelle du réseau.**

**1<sup>ère</sup> partie : Les fondateurs**

## **1. La théorie générale des systèmes (Bertalanffy)**

Biologiste de formation, savant au savoir encyclopédique, von Bertalanffy s'intéresse tôt à la conception de l'organisme comme système ouvert. Il participe à l'émergence de la théorie « holiste » de la vie et de la nature. Sa théorie de la biologie est à la base de sa théorie générale des systèmes. C'est dans ce cadre que le scientifique est amené à explorer les divers champs d'application de sa théorie – psychologie, sociologie ou histoire – comme autant de niveaux d'organisation. Le paradigme systémique conçoit à la fois la matière et l'esprit comme les éléments indissociables d'un processus évolutif qui se développe de façon non-linéaire dans un système complexe. Par « théorie générale des systèmes », il ne faut donc pas entendre une théorie particulière (comme la théorie des nombres complexes), mais un modèle pouvant s'illustrer dans diverses branches du savoir (comme la théorie de l'évolution).

Il y a en fait trois niveaux d'analyse à distinguer :

- La science des systèmes, consistant à la fois dans un 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 suffisent 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 *hardwares* et les principes de développement des *softwares*. Les problèmes techniques, notamment dans l'organisation et la gestion des phénomènes sociaux globaux (pollutions écologiques, réformes 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 au 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 cette sous-classe particulière des systèmes conceptuels qui correspondent à la réalité. A 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 enchâssée.

## 2. Le structuralisme

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

- En linguistique : De Saussure s'inspire de l'analyse économique et introduit le couple conceptuel signifiant/signifié. Ses travaux sont repris par le danois Hjelmslev et l'américain Jakobson : Hjelmslev présente le langage comme la double implication de deux structures indépendantes, expression et contenu. Enfin, Noam Chomsky, chercheur au MIT, dégage une grammaire générative, ensemble de règles linguistiques universelles, au fondement de toute langue possible. Il ouvre la voie aux sciences cognitives.
- En anthropologie : Lévi-Strauss 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 *Gestalttheorie* de l'école allemande (travaux sur la psychologie de la forme dans le domaine des perceptions) ; puis Piaget, 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.

## 3. La cybernétique

Due au mathématicien américain Norbert Wiener, la cybernétique est la science générale de la régulation et des communications dans les systèmes naturels et artificiels. La tâche du cybernéticien consiste : 1/ à reconnaître la structure et l'état interne de la machine ou de l'animal ; 2/ à décrire les relations qu'elle entretient avec son environnement ; 3/ 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 affecteurs (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.

## 4. La théorie de l'information

La théorie de l'information schématise de manière standard la communication comme suit : *toute information est un message envoyé par un émetteur à un récepteur en fonction d'un code déterminé*. Le postulat de Shannon est que, pour théoriser l'information, il est nécessaire de faire abstraction de la signification des messages. C'est le point de vue du théoricien, mais aussi de l'ingénieur : le contenu du message n'a

pas d'incidence sur les moyens de le transporter. Seule compte la quantité d'information à transmettre, mesurable selon la théorie de Shannon. L'objectif de celui-ci, ingénieur d'une compagnie américaine de téléphone (BELL), était de minimiser le coût des communications par une utilisation plus efficace des canaux de transmission.

La théorie de l'information de Shannon regroupe les lois mathématiques concernant le transfert de signaux dans des canaux matériels finis. 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.

## II<sup>ème</sup> partie : La notion de système

### 1. Historique

Le concept moderne de système date des années 1940. Il est dû à l'apport au moins de cinq personnages : outre *Ludwig von Bertalanffy*, *Norbert Wiener*, *C. E. Shannon*, dont nous venons de parler, il faut aussi évoquer :

· *Mc Culloch* : à l'origine neuropsychiatre, il étend ses recherches aux mathématiques et à l'ingénierie. Pionnier de la théorie moderne des automates, il est le premier à comparer le fonctionnement en réseau des composantes d'une machine à celui des neurones dans le cerveau. Il engage des travaux importants sur l'intelligence artificielle et fonde une nouvelle science, la bionique.

· *J. W. Forrester* : ingénieur en électronique, il élargit à partir de 1960 le champ d'application de la nouvelle théorie des Systèmes à la dynamique industrielle, puis élabore une « dynamique générale des systèmes ».

*H. Simon* : Médaille Turing (1975) et prix Nobel d'économie (1978), Herbert Simon a développé une vision de l'organisation, de la cognition et de l'ingénierie largement inspirée de la théorie de systèmes. Refusant la dichotomie entre science pure et science appliquée, son œuvre se situe à l'interface de l'informatique, de l'économie et de la psychologie et de la biologie. Il fut parmi les premiers théoriciens de la rationalité limitée des agents économiques et administratifs. Traquant « la forme ordonnée cachée dans l'apparent désordre », Simon a postulé que la distinction entre artificiel et naturel n'est pas opérante au niveau des modes de traitement de l'information par des systèmes complexes (cerveau ou ordinateur), dont l'organisation est assurée par des règles formelles d'adaptation à leur environnement. En 1956, Simon a réalisé avec Alan Newell ce qui est généralement considéré comme le premier système informatique d'intelligence artificielle (Logic Theorist, pour la Rand Corporation).

Le nouvelle approche des systèmes se développe aux Etats-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, conception et réalisation des premiers grands ordinateurs...

### 2. Quatre concepts fondamentaux

Quatre concepts sont fondamentaux pour comprendre ce qu'est un système :

a. *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.

b. *La totalité* (ou la globalité). Si 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. Bertalanffy est le premier à l'avoir montré. 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.

c. *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. 1/ 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. 2/ 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, c'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 existant, 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 construit 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.

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

- le degré élevée d'organisation ;
- l'incertitude de son environnement ;
- la difficulté, sinon l'impossibilité d'identifier tous les éléments et de comprendre toutes les relations en jeu. D'où l'idée que les lois permettant de décrire un système ne peuvent être purement déterministes, ou, tout au moins, que son comportement global ne permet qu'une prédictivité réduite.

### **3. Description d'un système**

• *Sous son aspect structurel*, un système comprend quatre composants :

- *Les éléments*, qui sont les parties constituantes : on peut en évaluer le nombre et la nature (même si ce n'est qu'approximativement). Ces éléments sont plus ou moins homogènes. Dans une entreprise commerciale, les éléments sont hétérogènes (capitaux, bâtiments, personnel,...).
- *Une limite* (ou frontière) 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 limite d'un système peut être plus floue, ou particulièrement mouvante, comme dans le cas d'un groupe social ;
- *Des réseaux de relation* : les éléments sont en effet interreliés. Nous avons vu que, plus les interrelations sont nombreuses, plus le degré d'organisation est élevé et plus grande 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.

- *Des stocks* (ou réservoirs) où sont entreposés les matériaux, l'énergie ou l'information, et qui doivent être transmis ou réceptionnés.

• *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 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). Evidemment, 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 XIX<sup>ème</sup> 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 Cannon vers 1930 et de Bertalanffy dans les années 1940. La notion de système fermé n'est en fait qu'un concept limite, puisque tout système est plus ou moins ouvert.

#### **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 des déséquilibres provoqués par les flux d'entrées et de sorties. Le système se retrouvant dans un état d'équilibre (ayant épuisé tous les échanges possibles avec son environnement) a atteint le stade de la « mort thermique » (pour reprendre l'expression de Boltzmann). La loi montrant que tous les systèmes fermés finissent tôt ou tard de cette façon s'appelle l'entropie.

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.

On trouve un processus particulier dans les systèmes vivants : l'homéostasie. L'homéostasie (d'*homios*, le même, et *stasis*, l'arrêt, la mise au repos) 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 XIX<sup>ème</sup> siècle par Claude Bernard, 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 négumentropie 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 pourquoi aussi 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.

## 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 la 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 ».

## 6. Typologie des systèmes

Il existe plusieurs typologies. Citons-en deux :

- La typologie de J. Lesourne (*Les systèmes du destin*), qui distingue :

1. Les systèmes à états (transformations entrées/sorties, sans régulation interne. Ex : un moteur de voiture).
2. Les systèmes à buts (régulation interne intégrée, capacité d'atteindre des objectifs. Ex : une chambre avec thermostat, une fusée à tête chercheuses).
3. 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).
4. 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 J.-L. Le Moigne, (*La théorie du système général*), qui sépare :

1. Les systèmes-machines, qui relèvent de la mécanique et de l'ingénierie.
2. 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).
3. 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 XX<sup>ème</sup> 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 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.

## III<sup>ème</sup> partie : outils et domaines d'application

## 1. Les deux systématiques

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

- 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 50 ; 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 70 et 80 : elle intègre deux autres concepts essentiels : la communication et l'auto-organisation (ou autonomie). A 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.

## 2. 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 systémique. Les principales formes d'analogie sont :

1. La métaphore.

2. L'isomorphisme : analogie entre deux objets présentant des similitudes structurelles.

3. 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.

Ex 1 : dans la théorie cinétique des gaz, Boltzmann s'inspire des lois statistiques de comportement de populations humaines.

Ex 2 : à partir des années 50, on utilise le concept d'information en matière génétique.

- *Les techniques d'aide à la décision (en matière stratégique)*. Elle viennent de ce qu'on appelle la recherche opérationnelle, consistant 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.

1. La combinatoire : elle intervient quand il faut combiner, dans le processus de décision, un nombre trop importants 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.

2. 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.

3. La concurrence : bien souvent, les contraintes tiennent autant à la complexité des paramètres du domaine considéré qu'à la 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 von Neumann et Morgenstern. 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 : 1° en délaissant leurs intentions, subjectives et par définition inaccessibles ; 2° 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 systémique 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:

1. 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.

2. La carte : 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.

3. 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).

- *La modélisation systémique* : 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 systémique.

### **3. Les domaines d'application**

Les principaux domaines sont les suivants :

- 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 stratégie militaire.
- Les recherches en ingénierie : l'informatique, l'automatisation (robotique), l'intelligence artificielle et les réseaux de communication.

*La systémique est ainsi un nouveau paradigme qui : 1/ regroupe des démarches a) théoriques, b) pratiques, c) méthodologiques ; 2/ pose des problèmes concernant les modes a) de l'observation, b) de représentation, c) de modélisation, d) de simulation ; enfin, 3/ se donne pour objectifs de préciser la notion de système : a) ses frontières, b) ses relations internes et externes, c) ses structures, d) ses lois ou propriétés émergentes.*

#### **Sources :**

- Norbert Wiener, *Cybernétique et société*, 1971, 10/18.
- Ludwig von Bertalanffy, *Théorie générale des systèmes*, 1993, Dunod.
- Francisco J. Varela, *Autonomie et connaissance, Essai sur le vivant*, 189, Seuil.
- Daniel Durand, *La systémique*, 1971, 8<sup>e</sup> édition corrigée : 1998, PUF, coll. "Que sais-je ?".
- Herbert A. Simon, *Science des systèmes, science de l'artificiel*, 1991, Dunod.