



HAL
open science

La question de l'apprentissage dans les approches systémiques

Vivien Braccini, Serge Finck

► **To cite this version:**

Vivien Braccini, Serge Finck. La question de l'apprentissage dans les approches systémiques. Cahiers de Systémique, 2023, 2, pp.9-20. 10.5281/zenodo.10057135 . halshs-04332430

HAL Id: halshs-04332430

<https://shs.hal.science/halshs-04332430v1>

Submitted on 8 Dec 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Open licence - etalab



La question de l'apprentissage dans les approches systémiques

Vivien Braccini

Chargé de recherche en sciences de l'éducation et de la formation
PSInstitut, Strasbourg
<vbm@groupepsi.com>

Serge Finck

Consultant associé
PSInstitut, Strasbourg

Résumé

Les pères fondateurs de la cybernétique et de la théorie des systèmes n'ont pas traité de l'apprentissage en tant que tel. La question a certes été abordée par les systémiciens, mais de façon indirecte, voire implicite, en lien avec l'adaptation ou le développement des systèmes, mais le processus lui-même, comme objet d'étude, a été finalement peu exploré, et de ce fait abandonné aux différentes disciplines qui en ont traité (psychologie, sciences de l'éducation...). L'apprentissage se présente en effet comme une activité susceptible d'exister dans tout système suffisamment complexe. Ce n'est de ce fait pas l'apprentissage que ces auteurs ont cherché à modéliser, mais le système qui apprend.

Abstract

The founding fathers of cybernetics and systems theory did not deal with learning as such. The question has certainly been addressed by the researchers in systemics, but indirectly, even implicitly, in connection with the adaptation or the development of systems, but the process itself, as an object of study, has ultimately been little explored, and therefore abandoned to the different disciplines which have dealt with it (psychology, educational sciences, etc.). Learning is in fact an activity likely to exist in any sufficiently complex system. It is therefore not learning that these authors sought to model, but the system that learns.

Mots-clés

Systémique – Apprentissage – Adaptation – Auto-organisation – Mémoire - Identité

Keywords

Systems Theory – Learning – Adaptation – Self-organization – Memory - Identity

INTRODUCTION

La systémique a progressivement émergé à partir des années 1950 de la convergence de nouvelles disciplines, notamment la cybernétique, la théorie de l'information, la théorie générale des systèmes et les théories de l'auto-organisation (Durand 1979). Elle rompt avec l'approche mécaniciste et réductionniste cartésienne (Amzallag 2010) qui a profondément marqué les sciences positivistes et expérimentales depuis les travaux fondateurs d'Auguste Comte. Dans celles-ci, la démarche d'investigation consiste à aborder un phénomène naturel en étudiant de façon

exhaustive, ses parties isolées élémentaires pour en déduire le fonctionnement global. Cette approche analytique, qui se fonde sur un raisonnement linéaire-causal, est peu adaptée lorsqu'il s'agit d'appréhender des phénomènes ou des objets complexes dont le nombre de variables, le nombre d'interactions entre ces variables et le caractère rétroactif des effets de ces variables les unes sur les autres ne permettent plus de considérer les parties isolément de leur ensemble. L'approche systémique se substitue alors avantageusement à l'approche analytique car elle est fondée sur une pensée globalisante, circulaire et téléologique qui se concentre sur l'étude des relations entre les éléments constituant le système et sur celles qu'entretient le système avec son environnement.

Parmi les phénomènes complexes observables dans la nature, l'apprentissage en est un qui n'a pas fini de préoccuper les acteurs du monde contemporain, comme le montre le foisonnement d'objets intimement sommés de devenir apprenant. Les individus bien entendu, mais aussi les organisations, les institutions et même les territoires doivent devenir apprenants. Nous pouvons nous interroger sur ce qu'ont en commun ces différents objets pour qu'ils puissent tous faire l'objet d'apprentissage. On peut se demander ensuite quel phénomène l'on désigne par ce terme, car il est communément utilisé pour désigner un processus mais aussi un résultat. Certaines théories économiques, inspirées par les conceptions biologiques de l'évolution et qui sont venues ensuite marquer les sciences de gestion et les pratiques de management, octroient une impérieuse nécessité à l'apprentissage car il conditionnerait l'adaptation comportementale des individus, des groupes, des organisations et des institutions. Sa forme la plus aboutie serait l'innovation, dans laquelle l'apprentissage jouerait le rôle de catalyseur pour une créativité contrôlée, voire stimulée. L'adaptation apparaît donc comme le résultat final de l'apprentissage qui alors serait le processus par lequel advient ledit résultat.

Il nous faut donc revenir à la définition de l'apprentissage avant d'explorer la manière dont la systémique aborde ou intègre cet objet. Pour cela, nous mobiliserons les apports des sciences de l'éducation qui étudient ce processus de longue date. L'ouvrage *Pédagogie, concepts clés* de Raynal et Rieunier (2014 [1997]), définit l'apprentissage comme :

Modification durable du comportement qui ne peut être uniquement attribuée à une maturation physiologique. Le concept d'apprentissage a un sens différent dans la langue commune et dans la langue des psychologues. Dans le langage de tous les jours, le terme apprentissage est étroitement associé à l'idée de métier manuel ou de formation sur le tas : « On va le mettre en apprentissage... ». L'apprentissage est une fonction de la vie animale. Tout animal est capable d'apprendre. Une paramécie (ce petit protozoaire qui peut atteindre la taille de 0,2 mm) peut parfaitement apprendre à toujours tourner à droite dans un labyrinthe en T. [...] Si à l'origine la paramécie tourne spontanément à gauche, vers le compartiment éclairé, et qu'après (n) décharges électriques délivrées à chaque fois qu'elle s'engage dans ce compartiment, elle tourne systématiquement à droite, on peut en conclure qu'elle a appris. [...] Apprendre, c'est modifier son comportement. » [...]. Cette définition simple et très opérationnelle, est indiscutablement réductrice. On peut lui préférer une autre définition [...] : « Apprendre, c'est modifier durablement ses représentations et ses schèmes d'action (p.192).

Cette définition qui se veut générale et qui n'a pas véritablement évolué depuis, décrit le résultat de l'apprentissage sans décrire le processus par lequel il opère. Quel modèle pourrait le permettre ? S'agit-il du même processus quelle que soit l'entité qui apprend et quel que soit l'objet de l'apprentissage ? S'il apparaît assez clairement que l'adaptation est un processus partagé aussi bien par un système social, que par une paramécie – confortant dès lors le bien-fondé de l'usage du terme dans le cas d'entités non humaines – les caractéristiques de ces adaptations seront, elles, totalement différentes. Qu'en est-il de la forme du processus, c'est-à-dire de la forme que prend l'ensemble des opérations successives, organisées dans l'espace et le temps, qui conduisent à un résultat déterminé ? Peuvent-elles être similaires ? En apparence, non. Mais les études visant à modéliser l'apprentissage manquent. Dans le cas de l'apprentissage humain, André Giordan écrivait encore en 2008 à propos des principales théories contemporaines de l'apprentissage : « À l'exception de certaines tendances cognitives, l'apprentissage n'est pour aucune d'elles leur objet premier d'études. Il n'est considéré au mieux que comme une retombée éventuelle ». C'est la raison pour laquelle cet auteur et son équipe ont conçu le modèle allostérique qui est intégratif et cohérent avec la définition très générale de Raynal et Rieunier. Ce modèle possède des qualités heuristiques et opérationnelles indéniables, pour autant, bien qu'il mette en valeur la complémentarité des différentes théories disponibles sur l'apprentissage, il n'offre pas une modélisation suffisamment généralisable pour pouvoir l'appliquer à d'autres entités que l'être humain.

C'est peut-être là que la systémique qui se veut au final plus une approche paradigmatique qu'une théorie ou un concept, est susceptible de nous aider dans cet effort d'abstraction et de généralisation, même si dans cet article nous nous contenterons de cerner la manière dont la systémique perçoit l'apprentissage. C'est pourquoi, nous proposons de suivre l'évolution historique de la pensée théorique et épistémologique qui a conduit à la formalisation de la systémique. Nous débuterons ainsi par les apports issus de la cybernétique, avec les travaux de W. Ross Ashby et de Frank Rosenblatt, et de la théorie de l'information, avec ceux de Heinz von Foerster, afin de comprendre les processus de régulation, d'autorégulation et d'auto-organisation d'un système. Nous reviendrons alors sur le structuralisme de Jean Piaget, pour exposer les raisons qui ont autorisé les systémiciens à relier le caractère figé des structures d'un système et le caractère dynamique de ces trois processus. Nous pourrions alors nous appuyer sur ces éléments pour mieux saisir les typologies des systèmes qu'ont établies Jacques Lesourne et Jean-Louis Le Moigne, hiérarchisées en fonction de la finalité et de la complexité de fonctionnement des systèmes. Nous verrons alors comment ils ont absorbé et dépassé les apports antérieurs. Par cette revue de littérature, nécessairement partielle et partiale, nous exposerons notre compréhension de la perception de l'apprentissage au sein de l'approche systémique et les réflexions que suscite la généralisation du terme d'apprentissage aux entités autres qu'humaines.

LES COURANTS FONDATEURS DE LA SYSTÉMIQUE ET L'APPRENTISSAGE

L'homéostat d'Ashby ou la loi de variabilité requise pour les apprentissages

Les dix conférences de Macy qui se sont tenues principalement à New York de 1946 à 1953 ont été l'opportunité pour une vingtaine de chercheurs issus de disciplines différentes (mathématiques, théorie de l'information, physique, neuropsychiatrie, sociologie, linguistique...) de se rencontrer et d'échanger à propos d'objets aussi différents que les ordinateurs, les mécanismes de l'autorégulation, la neurophysiologie, les réseaux neuronaux, le développement du langage, les névroses, l'apprentissage... L'objectif de ce groupe dont les rapports s'intitulent « *Cybernetics : Circular Causal, and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems* », était de construire une science générale du fonctionnement de l'esprit humain (Dupuy 1994). La production de ce groupe reste une référence pour les théoriciens de plusieurs courants, dont la systémique. Ayant pris pour objet d'étude les entités les plus complexes de la nature, le vivant et l'humain, leur effort de théorisation générale et interdisciplinaire les a conduits à poser les bases de ce qui deviendra plus tard une modélisation des systèmes complexes.

C'est durant la neuvième conférence de Macy en 1952 (von Foerster 1953) que W. Ross Ashby (1903-1972), psychiatre et expert en cybernétique, présente « l'homéostat », un appareil qu'il a lui-même conçu, capable de revenir à une position d'équilibre après avoir été perturbé par un changement survenu dans son environnement. Le dispositif est composé de plusieurs vannes commandables plongées dans un récipient rempli d'eau ainsi que d'un mécanisme de détection et de rétroaction câblé de manière à pouvoir piloter les vannes. Lors d'une perturbation extérieure rompant l'équilibre des vannes, le mécanisme de rétroaction le détecte, puis sélectionne des valeurs de commande parmi une table aléatoire comportant toutes les possibilités de commandes et pilote les vannes. Si l'équilibre n'est pas atteint, une autre valeur sera sélectionnée de façon aléatoire, jusqu'à ce que l'état d'équilibre antérieur soit restauré.

L'homéostat, nom donné à l'appareil en référence aux travaux du biologiste Walter B. Cannon sur l'homéostasie, en étant capable d'adapter son comportement de façon autonome dans un environnement sujet à des perturbations, montre pour Ashby des capacités d'apprentissage ressemblant à des fonctionnements présents dans le cerveau animal ou humain (Ashby 1952). La simulation de la pensée, de l'invention, de l'adaptation aux situations imprévues à partir du hasard suscite le débat avec l'auditoire. Comment peut-on affirmer que l'homéostat apprend alors que la machine ne fait que trouver à tâtons une position d'équilibre ? Peut-on considérer qu'un roulement à billes qui finit par glisser à travers l'ouverture d'une boîte que l'on secoue a appris à trouver la sortie ? Ashby souligne la question de la définition du terme d'apprentissage qui n'a pour lui qu'un sens objectif n'ayant rien à voir avec l'introspection. On peut y voir le ferment de la définition initiale ci-dessus qui consiste à considérer l'apprentissage comme toute transformation d'un système permettant l'adaptation à une situation posant problème.

Dans cette perspective, nous retiendrons la loi de « variabilité requise » qu'il énoncera par la suite : pour réguler un système donné, un régulateur doit avoir autant ou plus de variétés (de nombre d'états possibles) que le système qu'il régule (Ashby 1956). Cette loi ne recouvre pas la totalité des processus d'apprentissage des systèmes les plus complexes tel que celui de l'humain, mais on le retrouve dans les démarches d'apprentissage par tâtonnement qu'a démontré la didactique des sciences expérimentales avec l'exemple bien connu de la télécommande d'une machine que l'on teste de façon aléatoire pour en observer les effets. Plus l'individu est accoutumé à l'emploi de ce type de dispositif, et plus le champ de références des tests possibles est grand. Une différence importante limite notre analogie, à savoir que les résultats des tests peuvent-être mémorisés, d'autant mieux qu'ils sont répétés et cette mémorisation repose sur une capacité à percevoir l'état du système que l'on teste. Cette différence nous amène à parler du perceptron de Rosenblatt.

Le perceptron de Rosenblatt : la discrimination comme condition de l'apprentissage

Dans leur article de 1943, le neuropsychiatre Warren McCulloch (1898-1969), l'un des fondateurs des conférences Macy et le mathématicien Walter Pitts (1923-1969) présentent le premier modèle mathématique de neurone artificiel. Bien qu'innovant, l'intérêt du modèle est amoindri par ses limites applicatives, comme par exemple de ne pouvoir modéliser qu'une partie des fonctions logiques existantes, qui en plus ne peuvent qu'être programmées à l'avance par le concepteur. Ces neurones artificiels ne sont pas capables d'apprentissage car les seuils de basculement de leurs entrées, autrement dit leurs poids synaptiques, sont tous identiques et non adaptables. Le neurone ne connaît qu'une seule situation seuil à laquelle il s'allume. Il faut attendre les études du psychologue Franck Rosenblatt (1928-1971) portant sur la perception visuelle dans le domaine des réseaux neuronaux à partir de 1957.

À partir du modèle de McCulloch-Pitts, ce scientifique développe un réseau de neurones appelé « perceptron » qui est organisé en couches superposées de neurones et capable de reconnaître des lettres ou des formes simples. L'appareil est composé de cellules photoélectriques simulant l'activité de la rétine, les neurones intermédiaires effectuent les traitements tandis que les neurones de sortie classent les traits « reconnus » par le système (Dupuy 1994). L'algorithme de convergence utilisé octroie aux neurones la capacité de modifier leur poids synaptique à partir des données d'entraînement disposées en entrée du réseau. Cela lui permet d'apprendre par entraînement successif, par validation ou infirmation des règles programmées pour un nombre d'éléments suffisamment important de formes, pour que le système soit en mesure de classer les formes (qui sont pour l'algorithme une valeur numérique synthétisant les validations et les infirmations), autrement dit de reconnaître des formes similaires à celles apprises. Rosenblatt explique que la spécificité de sa démarche consiste à définir une classe de réseaux de neurones dont la structure est déterminée de manière incomplète et floue, de sorte à déterminer leurs propriétés fonctionnelles et leurs capacités d'apprentissage (Rosenblatt 1962). Ces travaux conduiront à la fin des années 1970 au développement de l'apprentissage artificiel, du connexionnisme et de l'apprentissage « profond » (*deep learning*), des courants spécialisés dans la reconnaissance et le traitement de la parole, de l'image... (Gardner 1985). De manière plus générale, ces expérimentations nous montrent qu'il peut y avoir une forme d'apprentissage, même quand les règles à suivre par l'entité qui apprend pour y parvenir sont externes et non consciencées. En d'autres termes, que ce soit la décharge électrique dans le cas de la paramécie ou les habitus sociaux incorporés dans les individus d'une catégorie sociale, nous sommes en présence de situations similaires où les règles de fonctionnement conduisant à l'adoption de comportements spécifiques sont externes et non-conscientes.

L'auto-organisation par le bruit

Heinz von Foerster (1911-2002), un autre des membres des conférences Macy, crée le Biological Computer Laboratory en 1957 et y fonde la cybernétique du second ordre. Avec son équipe, il étudie les mécanismes de l'auto-organisation. Il expose en mai 1960, dans une communication intitulée *On self-organizing systems and their environments* (Foerster 1984), d'une part l'impossibilité pour un système fermé de s'auto-organiser, et d'autre part, que dans le cas de certains systèmes ouverts, l'ordre émerge à partir d'une injection de bruit issu de son environnement. Pour illustrer son propos, il utilise un ensemble de petits cubes non métalliques et colle sur leurs côtés des bandes aimantées polarisées, pour certaines nord et d'autres sud. Il place ensuite ces cubes de façon aléatoire dans un sac, y ajoute des billes de verre. Le sac et son contenu constituent un système qu'il va secouer vigoureu-

sement apportant ainsi de l'énergie de manière aléatoire. En sortant les cubes du sac, il constate l'apparition de formes curieuses qui semblent être issues d'une construction fantastique faite d'empilements variés de cubes, des formes en râteau... Il conclut son intervention en s'exclamant que les systèmes auto-organisés restent des choses miraculeuses ! Le système a changé de configuration, mais pas de composition, et ce, sans qu'une main intentionnelle ne décide de la nouvelle structuration. Il montre ainsi que malgré la combinaison non ordonnée initiale et le caractère aléatoire de l'apport de la perturbation, le système s'est organisé seul d'une manière ordonnée qui, elle, ne paraît pas aléatoire.

Cette expérience soulève bien des questions. Si un système passif rudimentaire est déjà en capacité de s'auto-organiser, que penser des systèmes plus complexes dans lesquels l'auto-organisation pourrait être orientée par une intentionnalité inconsciente du système, telle que la survie ou l'application d'une fonction ? Et que penser alors de ceux pour lesquels cette intentionnalité est consciente ? Et dans ce dernier cas, peut-on imaginer un système pour lequel la finalité soit une propriété émergente grâce à la présence de certaines propriétés d'auto-observation ?

C'est Henri Atlan (1972) qui poursuit les réflexions de von Foerster pour comprendre, en tant que biologiste, les processus d'évolution du vivant qui impliquent des processus de transformation. Dans sa communication intitulée « Du bruit comme principe d'auto-organisation », il mobilise la théorie de l'information de Claude Shannon pour modéliser mathématiquement l'approche de von Foerster et démontre de la sorte que le bruit aléatoire qui perturbe un système constitue en fait pour celui-ci un événement de son histoire et de son processus d'organisation. Le bruit correspond à la perte d'informations lors de la transmission de celles-ci d'un élément du système à un autre sous l'effet de la stimulation du système. Mais parce que les éléments en question sont en relation avec d'autres éléments du même système, sans quoi il ne ferait pas système, cette perte d'informations occasionne une augmentation de la diversité de l'information présente qui profite au reste du système et engendre des réactions nouvelles, non prévisibles du fait du hasard des croisements d'informations non contrôlées émises par le bruit ambiant du système.

Les nouvelles informations ainsi formées peuvent entraîner en réaction de nouveaux comportements parmi les éléments du système, comportements qui engendrent une transformation de l'organisation du système sans qu'il y ait eu de nouveaux apports externes de matière ou d'énergie (Atlan 1972, 1979). Sans approfondir la démonstration de l'auteur, retenons qu'il faut maintenir suffisamment d'informations entre les éléments d'un système pour qu'il ne disparaisse pas, mais avec un minimum de bruit pour engendrer des transformations. L'application des approches systémiques dans le secteur des organisations illustre bien la pertinence du propos. L'information fournie par un service d'évaluation et d'enquête peut se dénaturer ou partiellement être non retenue au sein des équipes dont les membres vont entrer en relation interpersonnelle au hasard des rencontres. Par la confrontation des perceptions et des compréhensions individuelles, potentiellement différentes, de l'information initialement transmise lors de ces relations, de nouvelles perceptions et idées peuvent émerger et influencer le fonctionnement des services par les nouveaux comportements qu'elles induiront (Filloi 2009).

Ce que nous montrent ces apports c'est la possibilité pour un système, dans certaines conditions, de faire émerger des transformations spontanées en réaction aux informations qui circulent au sein du système et qui ont été générées par la stimulation de son environnement. Nous accédons à une proposition d'explication du processus de transformation d'une entité qui constitue la finalité de l'apprentissage selon la définition initiale ci-dessus. Or cette idée de transformation comme caractéristique des systèmes va apparaître dans l'approche structuraliste de Jean Piaget qui, avec la cybernétique et la théorie de l'information, peut être considéré comme l'un des précurseurs de la pensée systémique (Durant 1979).

Piaget, le structuralisme comme méthode

Jean Piaget (1896-1980) est biologiste de formation et également psychologue, épistémologue, philosophe. Il a été en relation avec Von Foerster et Le Moigne. Connu pour ses recherches sur la construction de l'intelligence et le développement de l'enfant, c'est pour sa conception du structuralisme que nous le retiendrons ici. Soulignons tout d'abord que pour ce chercheur, le structuralisme n'est pas un concept permettant de décrire un principe de réalité, mais une méthode de recherche adaptée aux objets composés d'éléments multiples en interactions formant

un système. Un terme qu'il a repris dans ses réflexions épistémologiques (1969, 1983 [1968]) dans lesquelles il défend une conception dynamique des structures.

Ce point de vue tient à la question de la genèse des systèmes. Piaget rappelle qu'aucun système n'est inné et éternel. Le système a donc dû apparaître puis évoluer pour répondre aux inévitables évolutions de son milieu. Il considère le système comme un tout qui se différencie du reste grâce à une frontière. Ce tout est un ensemble structuré, ce qui suppose l'existence de lois de compositions qui sont, elles, structurantes. La structure est donc tout à la fois structurée et structurante. L'action de structurer conforte l'idée de genèse, car s'il y a structuration, c'est qu'il y a une organisation topologique des éléments composant la structure et une organisation de leurs interactions qui changent. Autrement dit, une évolution des états de la structure dont on peut remonter l'histoire.

On retrouve là bien entendu les fondements épistémologiques du constructivisme et de sa conception génétique de l'apprentissage qui se veut simultanément diachronique et synchronique, les deux à la fois car la synchronie pure équivaldrait à une stabilité éternelle qui n'est pas possible et une diachronie pure consisterait à l'enchaînement de transformations si rapprochées qu'il ne serait plus possible de distinguer de structure, mais seulement un mouvement. Il existe donc des processus qui permettent de maintenir un certain temps, relatif à la dynamique interne du système, la stabilité de la structure, et qui sont capables de corriger en interne les effets de l'extérieur sur la structure puisque celle-ci ne peut exister *ex nihilo*. Toute structure intègre ainsi un autoréglage capable de générer des transformations au service de son adaptation, nécessaire à son maintien qui, de ce fait, devient un processus.

Cette conception constitue un édifice supplémentaire d'importance pour saisir la perception systémique de l'apprentissage, car elle peut se cumuler à la loi de variabilité requise des états et de la créativité par le bruit. C'est ce que, d'une certaine manière, a fait Piaget à partir de sa modélisation du développement humain par assimilation et accommodation des schèmes d'action (Piaget 1993). Si la situation rencontrée par l'individu est assimilable à des situations antérieures, alors il reproduit le schéma d'action qui avait été employé. Si des éléments de la situation diffèrent de ceux des situations déjà connues, alors il y a une accommodation d'une situation antérieure proche en y ajoutant un élément et en reconfigurant les relations du schéma d'action. Cette opération ramène à l'apprentissage par le bruit, car c'est par le croisement aléatoire, ou du moins non contrôlé, des idées et des connaissances antérieures que l'esprit fait émerger sous forme d'idée, une nouvelle manière d'agir qui pourra ensuite enrichir le stock de situations antérieures disponibles et donc augmenter l'importance de la variabilité des représentations disponibles. Ce modèle suppose d'autres processus du système qui ne sont pas abordés, mais que le travail de modélisation et de représentation des systèmes va formaliser.

LA MODÉLISATION DES SYSTÈMES QUI APPRENNENT

Les systèmes à apprentissage de Jacques Lesourne

Jacques Lesourne (1928-2020) est un économiste qui a été en relation avec le monde de l'industrie. Il s'intéresse aux politiques économiques, et à ce titre publie en 1976 *Les systèmes du destin*. Il propose dans cet essai une nouvelle doctrine politique fondée sur une meilleure compréhension des systèmes sociaux afin d'aboutir à d'avantage d'autocontrôle de l'histoire humaine. Dans le cadre de ce projet, il théorise la notion de système, dont l'usage s'avère foisonnant au sein de multiples disciplines, une diversité d'usages conduisant cependant à un flou notionnel assez fréquent en science. L'auteur considère cette notion primordiale car elle doit permettre de constituer une théorie générale « précise et dépouillée de toute métaphysique » capable de répondre à quatre finalités de la politique qu'il juge centrales, à savoir l'efficacité, la liberté, la participation et l'adaptabilité. Bien entendu, l'autonomisation du système social qui sous-tend ces finalités nous ramène du côté de l'apprentissage qui implique, comme nous l'avons vu auparavant, les notions de régulation et donc d'auto-organisation, mais aussi des capacités d'auto-finalisation, d'auto-décision et donc d'auto-information. Lesourne se distingue de la littérature de l'époque par cette approche systémique qui a un caractère de nouveauté. Mais pour lui, l'étude des systèmes est aussi vieille que la science, et ce n'est que par la complexification progressive des systèmes étudiés que d'une

part, le besoin de trouver des alternatives aux épistémologies et méthodologies classiques s'est fait ressentir, et que d'autre part, « est apparu progressivement l'ordonnement des systèmes du simple au complexe ».

Ce point nous semble crucial, car il laisse bien entendre que la perception de la complexité dépend avant tout de la nature du système que l'observateur souhaite embrasser en réponse à ses propres intentions (Braccini & Petitjean 2022). La perception des systèmes de Lesourne devient alors pertinente à nos yeux pour éclairer l'apprentissage car elle montre tout d'abord que ce n'est pas l'apprentissage que l'on modélise mais le système qui apprend.

Ainsi, en partant d'une définition sommaire du système comme un ensemble d'éléments liés par un ensemble de relations, il restitue une typologie des systèmes allant du simple système à état, en passant par les systèmes actifs puis à but, jusqu'au système à apprentissage et à auto-organisation. Ces catégories permettent, en les combinant, de décrire des systèmes complexes pour rendre compte des notions de jeux de pouvoir ou de force, d'organisation et de société. Cette perception combinatoire de plusieurs niveaux de système pour décrire un méta-système nous paraît également fondamentale, car elle suggère qu'une entité observée ne correspond pas à un seul des niveaux, mais à une combinaison de niveaux selon l'activité du système en cours et la nature des événements rencontrés. Cela ouvre à de bien plus grandes possibilités descriptives pour rendre compte de plusieurs niveaux d'activité d'un système, ce qui introduit l'idée de la coexistence de plusieurs niveaux d'apprentissage possibles dans un même système.

Pour l'intelligibilité de notre raisonnement nous n'irons pas plus loin sur ce plan, nous nous intéresserons plus spécifiquement au dernier niveau de cette hiérarchie des systèmes. Pour Lesourne, les systèmes à apprentissage et à auto-organisation dégagent une supériorité évidente parce qu'ils ont la capacité d'adapter leurs règles de réponse aux conditions de l'environnement. De tels systèmes doivent comporter au moins un sous-système (ou centre) de la mémoire et un autre de contrôle par calcul rattaché au centre de contrôle de l'action. Centres de mémoire et de calcul servent à déterminer ces adaptations en fonction des informations sur l'environnement non seulement présentes, mais également passées, inscrites dans l'histoire des événements et situations rencontrés.

L'apprentissage, dans leur cas, consiste donc à remplacer au fil de l'expérience les probabilités *a priori* par les fréquences observées, améliorant progressivement l'efficacité des réponses. Cette régulation, qui fait écho aux conceptions cybernétiques, reste encore trop mécanique parce qu'elle se fonde sur les observations d'états rencontrés. Aussi, le système peut encore être amélioré par l'introduction de tests aléatoires dont les résultats seront mémorisés pour renforcer les configurations pertinentes et affaiblir celles qui ne le sont pas.

En ajoutant une fonction de recherche spontanée de solutions, générée par un centre d'imagination, le système est capable de créer des réponses non-anticipées qui peuvent impliquer des modifications dans le fonctionnement, voire dans l'organisation du système et de ses sous-systèmes, tel que le conçoit également l'approche structuraliste de Piaget. Il y a donc auto-organisation. Il faut rappeler que les systèmes qui apprennent reposent sur sept types de centres en plus de celui de l'imagination, à savoir : un centre de stockage des buts, un centre de perception, un centre de mémorisation, un centre de calcul, un centre de volonté, un centre de motion et un centre de l'information qui gère les échanges entre les autres types de centres. Il serait délicat de décrire les boucles et échanges d'informations entre ces divers centres, qui permettent d'articuler expérience du système et situation en fonction de buts possiblement évolutifs. En effet, l'auteur précise qu'en reliant une part des entrées du centre des buts à la mémoire ou au centre de l'imagination, le système est alors en mesure de définir ses propres objectifs, ce qui le rend auto-directionnel. Ce modèle commence à faire apparaître différents niveaux complémentaires d'autonomie du système, qui seront ou non mobilisés selon le type de transformations requises par le besoin d'adaptation. Le premier niveau d'autonomie serait que le système soit capable d'adapter par lui-même son fonctionnement en fonction de buts externes et de la situation, et le second niveau se caractériserait par la possible adaptation réciproque des buts et du fonctionnement du système.

Le Moigne et la modélisation des systèmes qui apprennent

Jean-Louis Le Moigne (1931-2022), qui publie presque la même année son ouvrage phare *La Théorie général du système* (1977) se situe dans la même mouvance que Lesourne (1976). Son ambition est de fournir à la pensée systémique une théorie du système général sur laquelle s'appuyer pour modéliser et se représenter ce qui, dans le

monde des choses ou des idées, fait système, quelles que soient les disciplines. À la différence de Lesourne, il approfondit la dimension épistémologique en soulignant l'artefact intellectuel que constitue la systémique. En effet, « le système est un produit artificiel de l'esprit de l'homme » particulièrement pertinent pour se représenter les phénomènes et prédire dans une certaine mesure ses comportements. Il dénonce les démarches d'analyse systémique car elles réduisent la systémique à un cas particulier de l'analyse cartésienne, alors que « l'enjeu pourtant n'est plus d'analyser, mais de concevoir des modèles » qui intègrent leur observateur et sont donc finalisés. Reconnaître l'influence de l'observateur (Braccini & Petitjean 2022, Finck 2022) permet de prendre en considération l'orientation que celui-ci donne à la définition des limites du système modélisé et l'interprétation de son comportement qui ne peut-être qu'homomorphique et non isomorphique, c'est-à-dire que le modèle ne peut ressembler en tout point à l'ensemble des éléments faisant système. Ce principe épistémologique éclaire la difficulté qu'ont les diverses disciplines à appréhender et à définir l'apprentissage, même lorsque l'on restreint l'usage du terme aux humains. L'apprentissage ne peut être que la modélisation d'une activité particulière d'un système défini, activité dont la complexité dépend du degré de complexité de la finalité, c'est-à-dire du type de transformation visée. C'est cette transformation qui détermine le nombre et le type de processeurs (« centre » dans le vocabulaire de Lesourne) mobilisés par le système pour mener les processus qui conduiront à ladite transformation.

Pour revenir à la typologie de Le Moigne, ce dernier gradue le degré de complexité croissante des systèmes en neuf niveaux distincts qui déclinent plus finement la typologie de Lesourne, en accordant toutefois une importance plus grande à d'autres systèmes que ceux qui apprennent. Il répartit ses neuf niveaux en trois groupes : le premier correspond aux systèmes mécaniques qui sont, soit de type passif (l'objet ne fait qu'être, telle une pierre inerte), soit de type actif (comme le soleil qui produit divers rayonnements), soit de type régulateur (comme un thermostat) ou informationnel (comme dans le cas d'un automate industriel). Le deuxième groupe de niveaux intègre les systèmes vivants qui comportent *a minima* un centre décisionnel, voire un centre de mémoire ou même, pour les systèmes les plus élaborés du groupe, un centre de coordination et de pilotage de ses actions. Ainsi ce deuxième groupe permet de modéliser les cellules, les mammifères supérieurs et certaines machines très évoluées. Enfin, le troisième groupe de niveaux est celui des humains et des systèmes sociaux. Il se différencie des précédents par l'apparition de la capacité à traiter des informations symboliques, capacité qui permet une auto-organisation grâce à des mécanismes d'apprentissage et d'invention, orientés par les mécanismes de la finalisation. Le système est capable de se réorganiser en fonction des fins sélectionnées de manière autonome et donc, dans certains cas, d'effectuer des décisions à propos de décisions antérieures, autrement dit de se finaliser lui-même.

Dans cette typologie, les systèmes capables d'apprentissage se situent au minimum au niveau des systèmes « vies », qui peuvent ne comporter qu'un centre décisionnel, mais peuvent également intégrer un centre de mémoire, voir un centre de coordination et de pilotage. Le Moigne estime qu'il y a apprentissage surtout dans le cas des systèmes humains et sociaux du fait de cette capacité de traiter l'information symbolique. Ainsi donc, le niveau le plus abouti de cette typologie est celui où le système est actif et auto-finalisé car il incorpore alors plusieurs sous-systèmes, comme celui de la finalisation, celui de l'intelligence-conception, celui de la décision-sélection, ainsi que de l'information, et enfin, un sous-système opérant. De par les principes épistémologiques qu'énonce Le Moigne, tout ensemble d'entités en interaction peut être modélisé de plusieurs manières, à partir des différents niveaux de complexité de la théorie du système. Dans son paradigme, ce ne sont pas les objets étudiés qui sont plus ou moins complexes, mais c'est l'intention de compréhension et d'intervention de l'observateur qui l'est. Il souligne ainsi l'importance pour le systémicien de définir clairement ses intentions et d'adapter la complexité du modèle en fonction de celles-ci. Ainsi, pour l'approche systémique, il n'est pas utile de disposer d'une théorie universelle de l'apprentissage, car d'une part il s'agit de modéliser un système qui mène une activité d'apprentissage plutôt que de modéliser l'apprentissage en tant que tel, et les manières de modéliser un système qui apprend sont très nombreuses.

Dans l'activité d'apprentissage, puisqu'elle est dédiée à la transformation et à l'évolution par l'auto-organisation, la régulation devient particulièrement importante car elle répond au caractère nécessairement dynamique du système considéré. La régulation se définit en tant que l'ensemble des mécanismes d'ajustement que le système produit et met en œuvre en permanence pour maintenir son équilibre interne et s'adapter à l'évolution de son environnement (Donnadieu & Karsky 2021). La régulation dans un système complexe est basée sur la combinaison de boucles de rétroaction négatives et de boucles de rétroaction positives présentes dans le système avec l'environ-

nement extérieur qui se modifie. Les boucles négatives assurent la stabilité et le maintien du système dans le même état, c'est le principe de l'homéostasie que l'on peut qualifier de résistance au changement. Les boucles positives au contraire entraînent le changement, les actions de ces boucles provoquent un état de saturation ou d'effondrement du système, autrement dit, elles entraînent le système dans des zones extrêmes de fonctionnement et au-delà (Petitjean & al. 2024, sous presse).

La présence de ces deux mécanismes dans un système lui permet d'assurer sa survie dans un environnement changeant à condition que ces deux types de boucles fonctionnent de concert. Lorsqu'un apprentissage aboutit, l'on peut considérer que les boucles positives ont pris l'ascendant sur les boucles négatives afin d'initier une transformation du système pendant une période avant que le système ne bascule à nouveau dans un mode où les boucles négatives assurent à nouveau le maintien d'un équilibre. L'apprentissage peut paraître paradoxal dans des systèmes dont la finalité est de maintenir leur état et leur équilibre. La capacité des systèmes à évoluer est liée à l'existence de boucles positives qui mettent en œuvre les différents processus du système. Il s'agit en quelque sorte pour le système de la mise en action de réservoirs, de nouvelles configurations possibles du système, à condition de respecter le principe de variété requise introduit par Ashby (1956) et/ou d'accepter la créativité émergente qu'elle soit l'effet du bruit informationnel inhérent à ces processus ou d'une propriété supplémentaire de gestion symbolique propre au centre de décision.

L'un des exemples illustrant assez bien notre propos serait la thérapie systémique représentée notamment par Paul Watzlawick (Watzlawick 1991). Le système est circonscrit à la famille plus le thérapeute. Ce groupe constitue un ensemble d'éléments en interaction dont les communications sont régulées en fonction de buts à atteindre. L'individu qui souffre d'une pathologie est un élément de ce tout, et la thérapie consiste à réorganiser intelligemment les relations au sein de ce tout afin de modifier les comportements groupaux, qui induiront en retour une modification chez le patient. La thérapie systémique cherche moins à soigner directement le patient qu'à favoriser et développer les compétences propres de la cellule familiale qui va apprendre à se comporter de nouvelle manière face aux situations récurrentes. Dans cet exemple, l'activité d'apprentissage de la famille réside dans la transformation progressive des relations sous la conduite du thérapeute. Ce type d'apprentissage peut avoir pour finalité d'atteindre un nouvel état d'équilibre qui enclenche une nouvelle organisation. Mais l'activité d'apprentissage peut également conduire à une transformation des processus d'information et de décision pour que la cellule familiale puisse être en mesure de poursuivre seule son adaptation dans le cas où le nouvel état d'équilibre atteint serait perturbé par de nouveaux éléments. Avec la première finalité, une nouvelle intervention du thérapeute serait alors nécessaire.

L'APPRENTISSAGE, UN CHANGEMENT DE POINT DE VUE

Notre premier constat, à travers ces quelques pérégrinations conceptuelles au sein de la pensée systémique et de certains de ses courants précurseurs, est que cette méthode d'appréhension du monde ne propose pas de modèle spécifique de l'apprentissage : celui-ci ne constitue pas un objet d'étude en soi. Ainsi l'apprentissage apparaît davantage comme une activité résultant de l'interaction de plusieurs processus qui s'étayent sur d'autres processus, plus fondamentaux pour le système parce qu'ils répondent à la finalité d'exister et de maintenir cette existence. Ces processus fondamentaux sont l'adaptation, l'auto-organisation et l'auto-finalisation. Les processus autres qui les fondent que nous qualifierons de « supports », sont ceux de régulation, d'information, de décision, de mémorisation, d'invention et d'abstraction. L'apprentissage permet donc de désigner le comportement néguentropique d'entités pour qu'elles soient en mesure d'agir et d'évoluer dans leur environnement en fonction de leur histoire, des événements présents et des représentations des situations futures et ainsi continuer au mieux à exister. Si le degré d'autonomie de l'entité étudiée est important, alors son activité d'apprentissage variera selon la nature de ses buts. On note alors que le degré de complexité des processus nécessaires à l'apprentissage est directement lié au degré de complexité du type de transformation à opérer.

Notre second constat est que l'apprentissage d'une entité ne se réduit pas à son résultat. Le résultat de l'apprentissage consiste en une ou plusieurs transformations de l'entité qui apprend et dont les effets seront observables à travers la modification de ce qu'elle fait ou de la manière dont elle le fait, de ce dans quoi cette entité le fait, avec quoi elle le fait, sans oublier la modification des raisons de ce qu'elle fait. C'est sans doute pour cela que

la notion d'apprentissage ne s'entend pas de la même manière dans la bouche d'un cybernéticien, d'un scientifique généticien ou d'un chercheur en sciences de gestion ou de l'éducation. Non pas que le terme désigne des phénomènes totalement différents, mais plutôt que le couplage modélisateur-modèle est différent. Comme nous l'avons dit, selon l'entité étudiée, l'apprentissage réclamera tout ou partie des processus supports énoncés auparavant pour en permettre une modélisation qui soit adaptée à la finalité recherchée. C'est à notre sens le plus gros apport de la systémique : changer de regard sur l'apprentissage qui devient une activité conduite par une entité active composée d'éléments en relations et qui est plus ou moins autonome dans un environnement.

Venons-en maintenant à la modélisation de l'apprentissage : elle va dépendre de l'observateur et de ses intentions. Quel niveau de transformation souhaite-t-il influencer ou provoquer, quels sont les processus concernés (régulation, autorégulation, autoproduction...) ? Ces informations lui permettront de déterminer les limites et la nature du modèle. Nous serions tentés de dire qu'il y a un couplage structurel (Varela 1989) entre le modélisateur et son modèle.

Dans le cas de l'apprentissage chez l'humain, la définition telle que nous l'avons introduite au début considère l'humain en le posant implicitement comme le système étudié, et comme celui-ci fait partie du groupe des systèmes les plus complexes, il est normal que l'apprentissage, entendu dans ce cadre de référence, nécessite la totalité des processus supports. Même en sciences de l'éducation ou de la formation, il arrive que l'objet étudié ne mobilise pas toute l'étendue de sa complexité. Si l'on considère le simple changement des procédures d'action d'un individu ou la mémorisation de savoirs déclaratifs, il est possible de modéliser le phénomène sans les processus de création ou d'auto-organisation comme le montre le concept d'assimilation proposé dans la théorie de Piaget. Selon cette théorie, nous savons que la mémorisation de nouvelles informations n'implique pas nécessairement une restructuration du schème d'action ou des représentations. Cela ne veut pas dire pour autant que ce n'est pas un apprentissage. C'est un apprentissage d'un ordre moins complexe que ceux recherchés par les formateurs qui ont pour objectif une transformation des comportements via celle des représentations.

Considérer l'individu comme le système, comme un tout, n'est pas une décision anecdotique, car elle conduit à considérer qu'il faille identifier l'ensemble des processus supports d'un objet qui apprend, exclusivement dans ce cadre de référence. Nous érigeons ainsi une frontière guidée par notre perception des limites matérielles du corps et qui conduit à penser d'emblée que tous les processus et donc les processeurs nécessaires à l'apprentissage sont internes à l'individu. Mais certains de ces processus sont déjà en partie externalisés. La mémorisation chez l'individu est en partie déléguée aux livres, à l'ensemble des écrits, à l'informatique et aux réseaux virtuels d'informations. Il en va de même pour l'instance de calcul qui pourtant participe au processus de décision, sans parler des moyens d'assistance pour améliorer les représentations et les conceptualisations à travers, par exemple, les outils graphiques.

Nous pourrions mener la même réflexion sur le caractère apprenant d'une organisation : celle-ci est bien un ensemble d'éléments liés par un ensemble de relations. À ce titre, elle peut faire l'objet d'une modélisation aussi poussée que celle de l'humain, même si des choses diffèrent, comme par exemple les éléments composant le sous-système mémoire et ses mécanismes de fonctionnement. L'information est distribuée entre les membres de l'organisation, les anciens membres de l'organisation, le système d'information interne aussi bien qu'externe (internet, bibliothèque, administration etc.)

Ainsi ce que nous montre l'approche systémique, c'est que la définition de l'apprentissage dépend de la nature de l'action désignée (changement de l'action, changement de comportement, autonomisation de l'individu dans la gestion de ces deux types de changement...) et dont va découler la délimitation du système et donc son degré de complexité. Cela nous orientera alors quant aux processeurs à identifier pour mobiliser le système qui apprend et identifier la manière dont s'effectuent les interactions entre ces processeurs, de sorte à comprendre comment les processus concernés (autorégulation, décision, perception, action, décision...) interagissent dans le temps, interactions qui seront plus ou moins nombreuses, plus ou moins denses et plus ou moins intenses.

CONCLUSION

En relisant les pères fondateurs de la cybernétique et de la théorie des systèmes, ainsi que certains de leurs précurseurs, on se rend compte au final qu'ils n'ont pas traité de l'apprentissage en tant que tel. La question a certes été abordée par les systémiciens, mais de façon indirecte, voire implicite, en lien avec l'adaptation ou le développement des systèmes, mais le processus lui-même, comme objet d'étude, a été finalement peu exploré, et de ce fait abandonné aux différentes disciplines qui en ont traité (psychologie, sciences de l'éducation...). L'apprentissage se présente en effet comme une activité susceptible d'exister dans tout système, certes typiquement dans les systèmes les plus complexes comme l'être humain, mais également dans des systèmes plus simples, comme des micro-organismes ou des machines, ou dans des organisations (Braccini 2023), ou des collectifs d'entités simples comme par exemple une fourmilière ou même un virus (Petitjean & Schmoll 2023). Ce n'est de ce fait pas l'apprentissage que ces auteurs ont cherché à modéliser, mais le système qui apprend. Et certes, ce qu'il faut entendre dans chaque cas par apprentissage dépend de la focale que se donne l'observateur, sur tel système de tel niveau de complexité (Braccini & Petitjean 2022).

Références :

- Amzallag G.N. (2010), *La réforme du vrai : enquête sur les sources de la modernité*, Paris, Éditions Charles Léopold Mayer.
- Ashby W.R. (1952), *Design for a brain*, London, Chapman & Hall.
- Ashby W.R. (1956), *An Introduction to Cybernetics*, London, Chapman & Hall.
- Atlan H. (1979), *Entre le cristal et la fumée. Essai sur l'organisation du vivant*, Paris, Seuil.
- Atlan H. (1972), Du bruit comme principe d'auto-organisation, *Communications*, 18/1, p. 21-36.
DOI : <https://doi.org/10.3406/comm.1972.1256>.
- Braccini V. & Petitjean H. (dir.) (2022), *Le paradoxe de l'observateur*, dossier des Cahiers de systémique, 1, Strasbourg, Éditions de l'ill. DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.7447888>.
- Braccini V. (2022), L'observateur dans la recherche-action, *Cahiers de systémique*, 1, p. 31-37.
DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.7447800>
- Braccini V. (2023), Le pentaèdre des apprentissages : un modèle pour accompagner le développement du caractère apprenant des organisations, *Cahiers de systémique*, 2, p. 41-60. DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.10047925>
- Dupuy J.P. (1994), *Aux origines des sciences cognitives*, Paris, La Découverte.
- Donnadieu G. & Karsky M. (2021 [2002]), *La systémique, penser et agir dans la complexité*, Paris, AFSET.
- Durand D. (1979), *La systémique*, Paris, PUF (Que sais-je ?).
- Fillol C. (2009), *L'entreprise apprenante : le knowledge management en question ?*, Paris, L'Harmattan.
- Finck S. (2022), L'émergence de la question de l'observateur dans l'histoire des approches systémiques, *Cahiers de systémique*, 1, p. 9-19. DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.7447756>
- Foerster (von) H. (1953), *Cybernetics. Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social System. Transactions of the Ninth Conference, March 20-21, 1952*, New York, Josiah Macy Jr. Foundation.
- Foerster (von) H. (1981/1984), *Observing Systems* (avec une introduction de F. Varela), Seaside CA, Intersystems Publications.
- Gardner H. (1985), *The Mind's New Science: a History of the Cognitive Revolution*, New York, Basic Books Inc.
- Laborit H. (1968), *Biologie et structure*, Paris, Gallimard.
- Le Moigne J.-L. (1977), *La théorie du système général. Théorie de la modélisation*, Paris, PUF.
- Lesourne J. (1976), *Les systèmes du destin*, Paris, Dalloz.
- McCulloch W. & Pitts W. (1943), A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *Bulletin of mathematical biophysics*, 5, p. 115-133.
- Minsky M. & Papert S. (1968), *Perceptrons*, Cambridge MA, MIT Press.
- Petitjean H., Finck S. & Schmoll P. (2024, sous presse), Expansion et effondrement des systèmes : une discussion du concept d'homéostasie, *Bulletin d'histoire et d'épistémologie des sciences de la vie*, 32.
- Petitjean H. & Schmoll P. (2023), Les virus apprennent-ils ? Le couplage hôtes-pathogènes comme système complexe apprenant, *Cahier de systémique*, 2, p. 21-30. DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.10076256>

Piaget J. (1969), Le structuralisme, *Les cahiers internationaux de symbolisme*, 17-18, p. 73-85.

Piaget J. (1983 [1968]), *Le structuralisme*, Paris, PUF (Que sais-je ?).

Piaget J. (1993), *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.

Raynal F. & Rieunier A. (2014 [1997]), *Pédagogie, dictionnaire des concepts clé : apprentissage, formation, psychologie cognitive*, Paris, ESF.

Rosenblatt F. (1962), *Principles of Neurodynamic., Perceptrons and the theory of brain mechanisms*, Washington DC, Spartan Books.

Varela F.J. (1989), *Autonomie et connaissance*, Paris, Seuil.

Watzlawick P. (1991), *Les cheveux du baron de Münchhausen. Psychothérapie et « réalité »*, Paris, Seuil.