

une méthode partielle

battons

Auterme de cette présentation, il faut évoquer les critiques que suscite l'analyse de système appliquée au domaine de l'éducation (12).

- C'est un point de vue réducteur. A vouloir classer, typologiser, « faire entrer dans des petites cases » les activités multiples d'une institution éducative, on aboutit à ne sélectionner que quelques grands traits, et à présenter une image tronquée et partielle de la réalité. Les forces institutionnelles à l'œuvre dans n'importe quelle école, n'importe quel centre de formation ne se laissent pas ainsi enfermer dans des principes rationnels.

- Un principe de découpage est à l'origine de l'analyse de système. Un objet d'étude peut ainsi être déterminé. Mais cela aboutit aussi à négliger des forces réellement agissantes, par exemple l'impact des activités politiques nationales sur le fonctionnement du système.

- L'aspect relationnel (entre personnes et au sein des groupes) est une part importante de la vie d'une collectivité. C'est un des éléments dont il faut tenir compte dans l'analyse du fonctionnement d'une institution éducative : or, l'approche en terme de système n'envisage que des fonctions et pas la façon dont elles sont vécues par les hommes et les femmes qui les occupent.

- Le temps est peu pris en compte, à part dans son aspect « durée » en tant que ressource du système. La démarche d'étude de problème, la description en fonctions visent une sorte de vérité éternelle : tel en 1950, tel de nos jours. Le temps historique est pourtant là, porteur d'innovation et de régression qui ne passent pas obligatoirement par les décisions officielles des appareils administratifs.

- L'analyse de système est focalisée sur les difficultés de fonctionnement. Comment faire pour le

mieux ? Comment éviter les tensions ? Comment changer dans le calme ? Ces questions évoquent le management. Les luttes et les conflits ont tendance à être interprétés comme perturbations et à être mésestimés.

- L'utilisation pratique de la théorie dans des cas concrets n'est pas toujours évidente : une adaptation permanente est nécessaire pour faire la part de ce qui est particulier et de ce qui est phénomène général.

Et pourtant, si la pratique nous avait montré le peu d'intérêt de ce mode d'appréhension des réalités éducatives, il aurait été ridicule de prendre la peine d'en faire une présentation. Cet article suppose donc que cette méthode peut être efficace. Il ne s'agit pas de méconnaître la portée des critiques qui viennent d'être énoncées. Il semble cependant indispensable d'éviter une confusion courante : l'analyse de système est disqualifiée si on veut en faire une démarche scientifique appliquée à l'éducation. Ce n'est pas non plus une modélisation du fonctionnement d'une institution, ni même une série d'opérations à respecter phase après phase pour construire un centre de formation. L'analyse de système n'a pas vocation à rendre compte de tout...

C'est un outil, de ceux qu'on utilise au début d'un travail pour dégrossir la tâche. Il faut savoir l'abandonner, le relayer par des outils plus fins, plus adaptés. C'est surtout dans les premiers temps, lorsque le travail doit avoir lieu en équipe, que l'analyse de système se révèle utile : amorce de la réflexion, première ébauche d'un cadre de travail, mise en relation d'une information avec une autre, guide de questionnement, recherche des effets d'une décision projetée... Situer l'analyse de système comme méthode partielle n'est pas l'affaiblir : quoi qu'il en soit, elle garde la force des premiers jalons.

Jean-Claude LAPLANTE
Quatenaire-Éducation.



(12) S. Guigou dans « Critique de l'analyse systémique des actions de formation », Éducation permanente n° 17, a mis en relief les idéologies qui sous-tendent ce mode de pensée.

les cartes : passé, présent et avenir des systèmes

Si l'on tente de repérer les groupes de termes qui tiennent le devant de nos scènes intellectuelles et scientifiques, on les voit s'ordonner par paquets et se regrouper différemment au cours du temps.

C'est bien le cas pour la notion de système qui s'est complètement transformée depuis le XVII^e siècle, en plusieurs étapes, et se retrouve aujourd'hui combinée à une série de termes relevant de plusieurs sciences « simultanément » : **structure, limites, environnement, totalité, rétroaction, homéostasie (*)**, **information, ouverture et fermeture**, etc.

Une série de textes parus dans la précédente livraison de cette revue et, surtout, les principaux articles de ce numéro (A. Moles, J. Sultan, A. Le Gall, J.-C. Laplante, F. Viallet font par un biais ou un autre, appel à ce type de concepts).

C'est pourquoi le présent article, en étroite liaison avec celui de J. Laplante (lui-même illustré de trois exemples concrets) s'efforce d'éclairer, dans une vue synthétique, l'analyse et la théorie des systèmes – en soulignant leur importance – en relation avec le paquet de notions qui les accompagne – dans les sciences contemporaines (qu'elles traversent de façon interdisciplinaire) et dans les sciences humaines et l'éducation.

Il s'agit, pour y voir aussi clair que possible, de prendre en compte plusieurs exigences pédagogiques :

- « situer l'analyse (et la théorie) des systèmes » parmi les diverses sciences, et par rapport à celles qui l'ont engendrée ou l'utilisent plus particulièrement ;
- dresser le « tableau des concepts connexes » qui constituent « le paquet » systémique en dégagant quelques-unes des conséquences de cette approche, soucieuse à la fois de « connaissance et d'action ».

Ce programme – comme Recherche, Pédagogie et Culture – voudrait être l'origine et le tremplin de groupes interdisciplinaires de travail, laissés à l'initiative des lecteurs, scolaires et universitaires, par exemple dans des écoles normales, des centres pédagogiques où trouveront leur place, mathématiciens d'abord, mais aussi physiciens, biologistes, linguistes, sociologues et « administratifs », s'il est vrai qu'il s'agit d'une approche qui peut s'appliquer – sans constituer une recette – dans les domaines les plus divers.

le passé du pays où l'on va

La notion de système est certes ancienne. Pour se limiter à la période classique, elle y était de type logico-mathématique, ou mécanique, s'accompagnant d'une réflexion sur les systèmes simples de l'artisanat : treuils, horloges, statues animées et automates, ce qui appelait une théorie **statique** où les mouvements s'expliquent de l'**extérieur**.

Avec la révolution industrielle et le colossal développement des machines énergétiques, l'on a affaire à des producteurs dynamiques de mouvement, à des **moteurs**, si bien que la réflexion – et la science – se déplacent vers une physique de l'énergie, et vers la thermodynamique, en particulier avec les principes de Carnot.

Les systèmes se conçoivent dès lors dans leurs rapports :

- avec des **sources** (chaude et froide) par différence de potentiel ;
- en termes d'**énergie**, de réservoirs et chaudières, de **circulation**, de mouvement, de forces et de **travail** ;
- à l'intérieur de limites **fermées** (systèmes clos).

Or, aujourd'hui, voici que la notion de système se regroupe avec celles de combinatoire et d'arrangements, de structure, d'information et de circuits, d'intégration par niveaux, d'équilibre et d'homéostasie par référence aux êtres vivants, aux mécanismes sociaux et aux organisations, aux ordinateurs et aux servo-mécanismes, en termes de systèmes **ouverts**.

● Si comme l'écrivait le philosophe Hamelin, la vérité est système, on voit déjà qu'il faut au moins préciser en quelle acception.

A coup sûr, il ne s'agit pas de l'esprit de système en son sens habituel.

Il ne s'agit guère plus de sens que l'on peut tirer de faits tels que le système MTS, le système métrique, le système bielle-manivelle.

Ici déjà toutefois apparaît le souci de relier de façon **fonctionnelle et efficace des éléments d'un ensemble en connaissant clairement des liaisons existant entre ces éléments.**

● Si nous feuilletons maintenant des manuels de biologie ou certains traités de science économique, ou politique, ou de sociologie et récemment d'écologie, nous voyons émerger des préoccupations spécifiques autour des termes d'équilibre, de croissance, de changement, d'adaptation, d'évolution, de cycle, de régulation où se rassemblent deux soucis :

- comprendre par ces concepts une réalité **complexe** ;
- se mettre en mesure d'**agir sur elle** (médecine, économie des entreprises, changement social, environnement...).

C'est qu'en effet à ces niveaux du vivant et de l'organisation sociale, les méthodes classiques de l'analyse, logique, matérielle et expérimentale ne permettent que de décomposer des ensembles en éléments simples (provisaires) en dégagant des relations de chacun avec chacun, de façon linéaire, présupposant l'homogène, le réversible, le simple (c'est le règne des équations différentielles de la mécanique et de la physique).

Mais la **totalité** des liaisons reste inaccessible : qu'on se rappelle le fameux problème des trois corps, à la fin du XIX^e siècle, en astronomie, où Poincaré parvient à définir les équations du mouvement **perturbé**.

Or chez les vivants, dans les organisations sociales, on trouve des conflits, de l'irréversible, et cela selon des groupes d'éléments en interaction, de caractéristiques variées, et qui sont en très grand nombre. La statistique représente un premier moyen de répondre à ces objets d'étude complexes par des réponses **moyennes**.

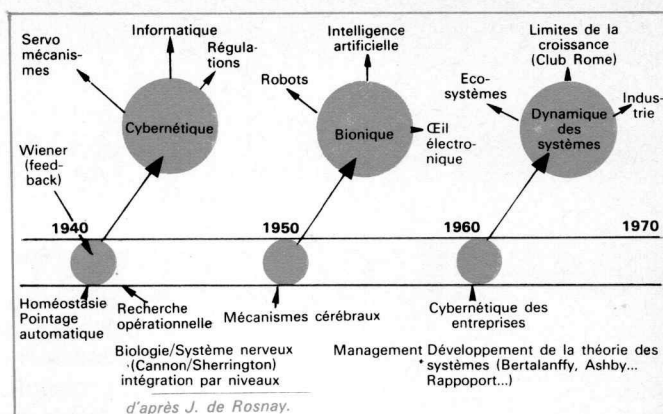
Mais, à partir des problèmes non résolus, et des obstacles rencontrés, et pour pouvoir agir rationnellement sur eux, on voit se développer, depuis 25 ans environ, une série de méthodes et de concepts nouveaux.

● Première ligne, vers 1940, de la machine vers l'organisme vivant. C'est la naissance de la **cybernétique** et de la **théorie des communications**. Comment penser les organismes comme systèmes de machines et d'appareillages moteurs avec des régulations et des boucles (feed-back) assurant la constance de leurs caractéristiques grâce à des **circuits d'information** calculables et répétables.

● Vers 1950 mouvement en retour, de l'organisme vers les machines. Comment concevoir des appareillages répétant les apprentissages, les régulations, l'auto-organisation des organismes. La **bionique** (1) et l'intelligence machino-artificielle répondent à ces projets.

● Enfin, après 1950 se perfectionne l'outil qui devait permettre d'aborder la complexité de façon neuve : l'ordinateur et l'informatique, les mémoires magnétiques quasi-instantanées, les simulations « cybernétiques » de la décision des organismes et des organisations, par une dynamique des systèmes.

Ce que récapitule le schéma suivant :



Aussi tandis que le télescope a permis d'aborder le domaine du très grand (dans l'espace) et le microscope celui de l'infiniment petit, il revient semble-t-il à l'approche par les systèmes de développer l'outillage intellectuel nécessaire à la **connaissance du complexe**.

Au lieu d'analyser, de répertorier, et de classer des éléments, il s'agit désormais d'étudier la nature des relations qui les relient, un à un, **et dans leur réseau** constitutif sans se concentrer sur les éléments en eux-mêmes.

Remarque. – C'est à cette perspective que correspond la notion de boîte noire ou quadripole, où l'on considère la relation caractéristique existant entre une entrée et une sortie, **sans éclairer** nécessairement le détail interne qui l'explique lorsque la difficulté apparaît insurmontable, et que l'**action** l'emporte sur la connaissance.

On peut schématiser l'originalité de cette approche en la comparant à la méthode classique de l'analyse :

l'analyse	l'approche systémique
isole des éléments en étudiant leur nature	relie les éléments en se concentrant sur les effets des relations
modifie une variable de variables	modifie des groupes de variables
approche/statistique réversible	approche/selon la durée irréversible
preuve expérimentale	simulation par élaboration de modèles
domaine des relations linéaires	domaine des relations multiples et complexes
conduit à des actions menées par addition de détails	conduit à des actions menées à partir de leurs objectifs
domaine de choix : les solides les forces la causalité linéaire (stabilité / équilibre/permanence)	domaine de choix : les flux les fluides la causalité circulaire (les relations intérieures et extérieures / les communications entre éléments / les régulations)
Exemple : les cristaux	Exemple : les cellules vivantes

Il faut ici souligner un point fondamental qui caractérise la nouveauté essentielle de l'approche systémique.

L'analyse (et son inverse la synthèse) classique décomposait le tout en ses éléments $1 + 1 + 1 \dots = N$ et $N = 1 + 1 + 1 + 1 + \dots$. Concevoir le système (et du même coup la structure du tout) consistait à recomposer le tout par sommation des éléments repérés et isolés.

Or cette **arithmétique est disqualifiée** dans l'approche systémique (mais combien y songent dans nos établissements d'enseignement et chez les philosophes ?) au profit des notions mathématiques de la combinatoire et des arrangements. Le système total n'est pas comparable à un ensemble d'unités indépendantes, et son nombre de variables n'est pas la sommation de ses éléments, mais celui de l'ensemble de ses parties P (E).

Par exemple, avec quatre éléments on a seize combinaisons (n^2). Plus encore : si (comme c'est ordinairement le cas) on introduit une contrainte de préférence dans le système, c'est-à-dire un principe de classification, on obtient ce que les mathématiques définissent comme un **simplexe**, où « ensemble des

parties d'un ensemble fini organisé par inclusions » (en allant par exemple de la partie qui possède le plus d'éléments à celle qui en comporte le moins).

On obtient en ce cas une **structure d'ordre** c'est-à-dire une sorte de charpente générale et une façon de se comporter qu'on retrouvera dans tous les simples – qui sont tous **isomorphes**, lorsqu'ils sont doués d'une structure commune (2).

Notons au passage que nous sommes déjà en présence ici d'une hiérarchie entre les parties d'un ensemble, et que ces structures d'ordre (et de groupe) constituent des systèmes de transformation... pour penser les lois de transformation... des systèmes.

(1) *Bionique : contraction des mots biologie et électronique pour désigner la science qui étudie les fonctions des organismes vivants et leur simulation analogique par les mécanismes qui en imitent le comportement.*

(*) *Homéostasie : maintien de la constance des conditions de vie dans le milieu intérieur.*

(2) *La parole est laissée dans cette étape aux mathématiciens. Pour les autres, ils pourront se reporter par exemple à l'excellente initiation à la mathématique de base éditée par les chantiers de pédagogie mathématique (Association des professeurs de mathématique de l'enseignement public français).*

qu'est-ce qu'un système et comment le concevoir ?

Première approche.

Pour répondre, et préciser quels sont les concepts corrélatifs de l'approche par les systèmes, le plus simple est sans doute de procéder du simple au complexe.

● Au départ, il y a système, on l'a vu, dès qu'on a affaire à un ensemble d'éléments (ou d'unités) liés par un ensemble de relations (voir par exemple le cas de l'automobile, au début de l'article de J.-C. Laplante), si bien que toute modification d'un élément entraîne celle de certains autres.

Remarque. – Notons qu'il n'y a rien de nouveau ici. Depuis longtemps la science a considéré des systèmes à organisation simple de leurs éléments (par ex. en mécanique, la statique et la dynamique des solides). Mais les systèmes complexes, à organisation complexe de leurs éléments n'étaient pas abordés, dans leur complexité précisément.

Pour traiter d'un système, il faut, en effet, dès le départ, se préoccuper de quelques points essentiels (3).

● Pour qu'il y ait système, il faut avoir **délimité** des

éléments sur fond d'**environnement** : il y a ainsi un **dedans** et un **dehors**.

● D'où deux cas :

– ou bien le **système est fermé**, c'est-à-dire qu'il n'échange rien avec son environnement, dont il est coupé. L'image en serait – bien que fausse – l'État fermé et autarcique qui « vivrait sur lui-même » et ses seules ressources, pour ne rien dire des systèmes thermodynamiques (calorimètres);

– mais en fait, **pratiquement tout système** est plus ou moins **ouvert**, c'est-à-dire qu'il est en relation permanente avec son environnement et échange avec lui de l'énergie, de l'information, des matériaux, des déchets, des hommes, etc., selon le cas considéré.

Remarque. – Dans ces conditions, on peut considérer tout système comme sous-système d'un environnement plus large, considéré alors lui-même comme un système et, inversement, tout système peut comporter des sous-systèmes. Le choix du découpage n'est cependant par arbitraire (comme on le verra sur un exemple de J.-C. Laplante à propos du cadrage des systèmes éducatifs).

Notons, dès à présent, qu'un système constitue avec son environnement l'ensemble de ce qu'il est intéressant d'étudier dans un contexte donné. On peut les diviser ensuite en sous-systèmes ouverts et mutuelle-

(3) Nous n'avons pas repris ici le concept d'entropie déjà abordé et expliqué dans le précédent numéro (articles de MM. Vernes et Costermans à propos de la notion d'information).

ment articulés par intégrations. Si bien que chaque échelon est l'équivalent d'une totalité par rapport au bas et un ensemble de parties par rapport au système englobant du haut. Les structures et les fonctions se correspondent ainsi horizontalement et verticalement.

Par conséquent, outre l'ouverture ou la fermeture, il faut, dans l'étude d'un système, s'intéresser à sa structure et à sa fonction.

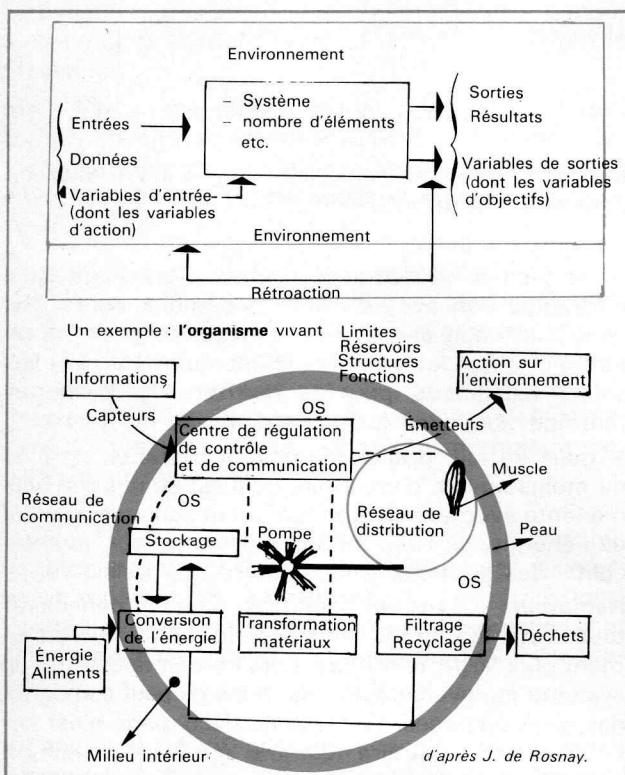
Quant à sa structure.

- connaître sa limite (on vient de le voir);
- dénombrer ses éléments (ou unités) et les classer par catégories;
- en repérer les stocks ou **réservoirs** où sont conservés des stocks d'énergie, de matériaux, etc.);
- découvrir son réseau de communication, c'est-à-dire les canaux, fils, nerfs, veines, routes, etc., par où s'opèrent les échanges internes et/ou avec l'extérieur.

Quant à sa fonction

Il convient :

- de connaître les flux (d'énergie, d'information, de matériaux, d'hommes, etc.) qui circulent entre les réservoirs-stocks, en quantité et en vitesse, et ce qui **entre et sort** d'un système ouvert;
- de repérer les **vannes** qui contrôlent les débits de ces différents flux (et qui correspondent à des centres de décision, dans les organisations sociales);



On cherchera à préciser quelles sont les limites (ici la peau de l'organisme) :

- quels sont les réservoirs et stockages;
- quels sont les réseaux de circulation des flux;
- où se font les transformations (énergie, chaleur, travail);
- comment s'effectue : l'information entre les parties, la régulation.

- d'examiner les **déchets** que rejette le système;
- de découvrir quels sont les temps de réaction ou les délais mis par les différents flux dans leurs circuits entre réservoirs;
- enfin, de dégager (dans des systèmes souples) les boucles de rétroaction qui assurent la régulation, ou l'amplification, ou la dégradation du système considéré.

Remarque. - On verra dans II B comment la fonction (ou les diverses fonctions) se branchent sur des objectifs, par exemple, la stabilité du système.

Mise en œuvre et degrés de complexité de l'approche systématique (4).

Systèmes à états.

Si nous considérons les différents types de systèmes, il faut définir d'abord les **systèmes à états** « qui transforment une succession d'entrées en une succession de sorties » avec deux cas intéressants :

- les systèmes autonomes, où les entrées ne sont pas fonction du temps;
- les systèmes non autonomes, où elles dépendent du temps.

Ici une notion essentielle est à dégager : la **différence ou variété** d'un système.

Lorsqu'un système est exposé à un certain nombre de perturbations différentes possibles, il a à sa disposition un certain nombre de réponses : chaque séquence (perturbation - réponse) met le système dans un **certain état** (5). Parmi eux, certains sont acceptables au regard de la survie, ou des objectifs du système, lorsqu'il en comporte (voir cas suivant).

Notons que la régulation consistera à choisir parmi les réponses possibles celles qui mettent précisément le système dans un état acceptable.

On appelle variété d'un système, le nombre de ses états possibles. Ce nombre est fonction du nombre de ses éléments.

Cette notion trouve des applications importantes : dans un système autonome à états, la situation finale comporte une variété minimum.

Pour les systèmes non autonomes, il en va autrement : variété $\leq$ variété de l'environnement + variété propre (6). (Nous retrouverons plus loin cette catégorie de la variété.)

Systèmes à états avec une commande extérieure.

On suppose qu'un « contrôleur » se charge d'ajuster les différents états du système.

Exemple : un système de pointage de tir antiaérien sur cible mobile.

(4) Ce passage a largement utilisé le récent ouvrage de J. Lesourne, *Les systèmes du destin*, Paris, Dalloz, 1976.

(5) Voir leur dénomination dans le paragraphe précédent.

(6) Ceci veut dire que les sorties du système sont fonction de l'état, des entrées, de l'environnement si bien que le système transmet des informations sur l'état de l'environnement.

Il faut ici disposer :

- d'une **information** permanente du contrôleur ;
- d'un **calcul des décisions** du contrôleur pour le réguler ;
- d'une capacité de commander le système.

Étant donné la structure du système, la zone de contrôle possible, les conditions initiales, il s'agit de choisir les contrôles qui conduisent le système à la cible recherchée. Ici : variété requise des sorties du système $\geq$ (variété environnement - variété du contrôleur).

Il faut donc disposer d'une capacité de contrôle dont la variété soit $\geq$ à la variété de l'environnement.

Application : on ne peut réformer un système que si l'on dispose d'un contrôle sur son environnement direct, ce qui explique l'échec de bien des réformes politiques, économiques ou éducatives.

Systèmes à objectifs.

Cette fois le contrôleur devient un élément du système (on l'appelle d'ailleurs unité-objectif). Les exemples sont innombrables, du thermostat à la fusée-missile à tête chercheuse et aux régulations biologiques.

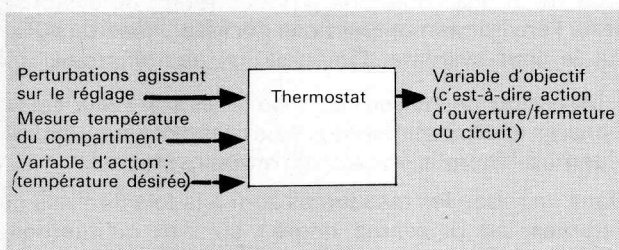
Considérons un thermostat de réfrigérateur. Il s'agit d'un système composé d'un compartiment et du thermostat qui en règle la température.

(Le compartiment est un système à états.)

Entrées : flux de calories échangées avec l'extérieur, décision du réglage du thermostat.

Sorties : température du compartiment, mesure température envoyée au thermostat.

Le thermostat est une unité-objectif. Quelles sont ses entrées et ses sorties ?



On voit ici apparaître un système ayant une sorte de finalité. Qu'est-ce à dire ?

D'abord qu'il y a **adéquation** (ou appropriation) du système : ce dernier est approprié pour répondre à des situations, et il y a pour chaque situation une possibilité de réponse.

Il y a ensuite **adaptation** : à tout changement de l'environnement au temps T, va correspondre une réponse au temps T + N qui rétablit l'environnement antérieur.

Or ceci suppose une communication entre le système et l'environnement, permettant de repérer ses **points**

critiques. Autrement dit, la fonction de contrôle du cas précédent se présente sous la forme d'une régulation. Il faut alors, à la fois, que la variété perturbatrice soit réduite ou diminuée au maximum (carapaces, graisse, etc., pour se protéger des changements de température) et que des mécanismes régulateurs soient mis en place pour obtenir l'**autonomie maximum** par rapport à l'environnement.

En dehors du cas élémentaire du thermostat, ceci est vrai des animaux supérieurs à sang chaud. D'autres bons exemples sont le cycle du calcium chez l'homme ou la régulation de l'adrénaline.

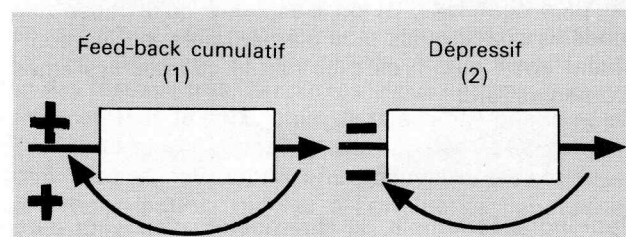
On y voit fonctionner ces mécanismes du feed-back (ou boucles de rétroaction) sous leurs différentes modalités.

On l'a vu, pour le thermostat, des informations sur les résultats de sorties sont renvoyés à l'entrée, sous forme de données (disons, autrement, sous forme d'informations).

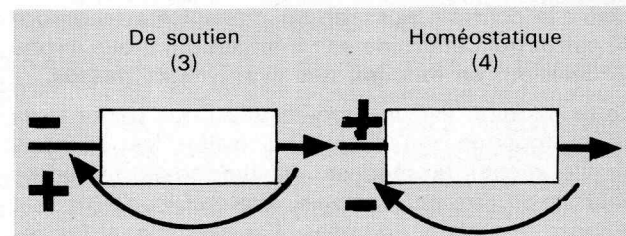
- Si ces données facilitent ou accélèrent la transformation en cours, on est en présence d'une boucle positive, à effet cumulatif.

Par exemple : un capital d'argent rapportant des intérêts s'accroît de ces intérêts, ce qui augmente les intérêts, etc. **Inversement**, si la transformation va vers la dégradation du système, le feed-back positif accélère celle-ci, comme dans une entreprise en faillite.

- Si la boucle de rétroaction est négative, on a ordinairement un effet de convergence vers un objectif. Ainsi le comportement des systèmes est-il déterminé par le double jeu de variables d'état et de variables de flux (qui correspondent aux vannes et circuits reliant les réservoirs, qui sont des variables d'état).



Les cas 1 et 2 sont des feed-back amplificateurs d'une évolution en cours.



Les cas 3 et 4 sont des feed-back compensateurs.

Le cas n° 4 est le plus étudié puisqu'il tend à ramener le système à l'intérieur des limites de ses valeurs de fonctionnement normal.

Les exemples sont ici, classiquement, ceux des régulations biologiques.

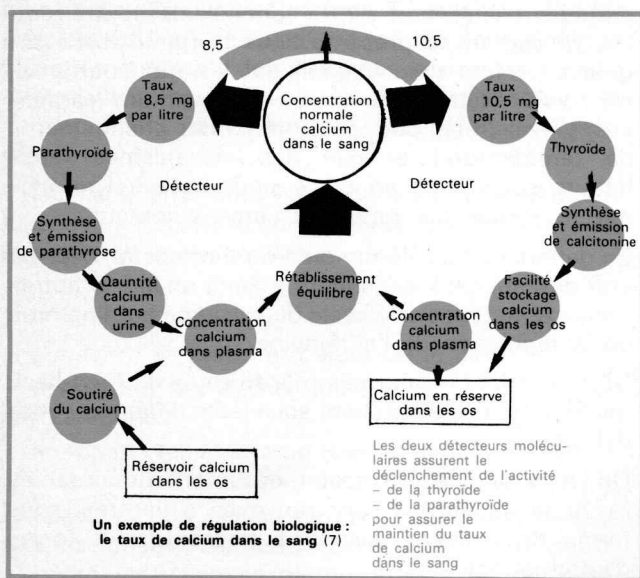


Schéma établi d'après J. de Rosnay (cf. bibliographie).

Remarques :

- Un bon exercice consisterait à définir les limites du système régulation du calcium en repérant les éléments, et les unités-objectifs, les flux, les réservoirs, le réseau de communication, etc.
- Les systèmes à objectifs à régulation intégrée peuvent être, soit des systèmes **conceptuels** inventés pour comprendre la réalité, soit des systèmes **concrets**, que l'expérimentation vérifie, en particulier en biologie.

Le cas des systèmes sociaux et de leurs institutions est plus complexe, et on s'explique qu'il utilise des modèles conceptuels plus élémentaires, en les combinant entre eux. (Voir plus loin le cas des systèmes d'organisation.)

Systèmes à apprentissage et systèmes à auto-organisation.

Reprenons l'exemple du thermostat, disposant d'un contrôle interne (unité-objectif), et dotons-le maintenant d'une **mémoire**.

On voit alors apparaître des processus d'un type nouveau : le contrôle possède un mécanisme incorporé de calcul qui détermine son intervention (nous dirons sa **décision**) en fonction des événements passés.

Cette décision est une modification des paramètres de la fonction qui détermine (selon les données qu'elle reçoit) la réponse du thermostat. Celui-ci, pourrait-on dire par analogie, **apprend** les formes de réponse les mieux adaptées. Par exemple, si les réponses déclenchaient à l'origine une amplitude des écarts importante : température légèrement trop chaude - moteur - température beaucoup trop froide, etc., les **réponses seront corrigées** par un **deuxième système régulateur** qui en réduira la durée, pour que les oscillations de température soient minimales. Le système adapte ainsi et gradue sa **règle de réponse** aux conditions de son environnement.

Le système répond désormais à des situations en fonction d'un objectif (ici le maintien d'une température), mais a de plus la possibilité d'apprendre à les poursuivre de manière plus efficace, grâce à un centre de contrôle doué d'une mémoire, qui ajuste les réponses du 1^{er} régulateur.

● Nous pouvons compliquer ce schéma d'un nouveau cran, si nous dotons le système d'un contrôle de l'unité-objectif, capable de choisir **au hasard** les paramètres de la règle d'action du thermostat.

Le système apprend, en modifiant le mode de fonctionnement de l'ensemble « système à état + contrôleur » à partir de valeurs se fixant au hasard : il y a organisation progressive par **essais et erreurs**, c'est-à-dire que les modifications efficaces dans un environnement donné sont renforcées et celles qui ne sont pas efficaces sont affaiblies, grâce au jeu d'un **réseau combinant plusieurs boucles de rétroaction**.

A ce niveau de complexité, qui nous rapproche des systèmes institutionnels de la vie sociale, et des animaux supérieurs, quels sont les unités et sous-systèmes caractéristiques :

- un **réservoir** stockant les **objectifs** avec une mémoire d'enregistrement
- un sous-système (un appareillage) d'**imagination** entendue comme la capacité de mettre en œuvre des actions différentes en fonction des modifications internes ou extérieures au système
- un sous-système sensible de **perception** fournissant des informations (ou données)
- des sous-systèmes de calcul, de motricité, de transmission, d'information, de mémorisation

Remarque :

- Dans de tels systèmes, l'élaboration des objectifs peut être créatrice. Il suffit de brancher une partie des entrées du sous-système « Réservoir de stockage des objectifs » sur le sous-système de mémorisation, gardant trace des situations passées (états du système et de l'environnement, actions décidées, résultats), ou sur le sous-système d'imagination combinatoire.

● La notion de ressources trouve ici son plein sens. Dans un thermostat, les ressources sont uniquement externes (énergie électrique, moteur, etc.).

Dans un robot, les ressources sont à la fois internes et externes, au deuxième degré : en tant qu'internes, elles contrôlent les ressources nécessaires pour se procurer des ressources externes.

Dans les organisations composées de systèmes complexes, il y a comme on dit de la ressource : des réservoirs, des possibilités d'invention intelligente, et de mise en œuvre de ces ressources.

● Mais on y trouve également **hiérarchies** et **intégration** : il y a superposition de contrôles qui se corrigent les uns les autres, en prenant en compte des variables supplémentaires afin d'atteindre à une autonomie maximum de l'intérieur du système.

Note. - Cette notion d'intégration trouve un appui dans la mise en évidence de la **fonction d'ambiguïté** de Foerster et Atlan. Elle consiste à montrer que des

erreurs et perturbations de la transmission des informations utiles au fonctionnement d'un système S, peuvent devenir des facteurs positifs d'organisation lorsqu'elles sont reprises par un système S2 branché sur S1, ou hiérarchiquement supérieur.

Ce qui était un obstacle à la circulation de messages organisant S1 se renverse et s'ajoute à l'information au niveau de S2 (8).

En d'autres termes, la variété des réponses disponibles d'un système (complexe et organisé) est indispensable pour lui permettre d'assurer sa régulation dans une fourchette limitée d'états, alors qu'il est soumis à une grande variété de perturbations de la part de l'environnement. C'est-à-dire, par exemple, qu'un système vivant (ou une organisation humaine) placé dans un environnement fluctuant imprévisible qui l'agresse, trouve dans sa variété (de structure et de fonctions) un facteur indispensable d'autonomie, qui est **renforcée** par ces variations aléatoires.

● Su même coup, se trouve rejointe la perspective **structuraliste** contemporaine. En effet, si l'on peut analyser tout système sous l'angle diachronique, ou historique, à partir de son développement, ou d'un point de vue synchronique, à partir de sa structure actuelle, c'est cette seconde approche qui permet de déceler les forces et les flux en équilibre à un certain niveau d'organisation, et les tensions qui en préparent une nouvelle.

A cet égard, certains, tels Piaget (9) identifient presque système et structure et il est sûr qu'un système est une structure.

D'autres préfèrent dire que le système a une **structure** qui est constituée par le réseau des interactions qui définissent la **configuration** d'une réalité, non apparente à la simple description.

Alors que l'analyse de système, elle, envisage plutôt le fonctionnement de cette configuration :

- rapports avec l'environnement ;
- flux, circuits, vannes et « réservoirs » ;
- points critiques clés, et boucles de rétroaction, etc.

Mais il est sûr que structures et systèmes dans leur sens et leur usage actuels se recoupent et relèvent d'une même révolution intellectuelle et scientifique contemporaine.

● Enfin, comme l'évoque l'article de F. Viallet, sur la mise en œuvre d'un système éducatif et sa capacité de résister à l'usure du temps (p.), l'approche systémique permet d'aborder leurs conditions de disparition et de dégradation :

- perte de leurs ressources et de leur puissance ;
- perte de leurs capacités de s'informer sur leurs éléments internes et sur l'environnement, par un réseau de communication adapté ;

(8) Ceci ne vaut, naturellement, qu'à l'intérieur de certaines limites. Il est évident qu'une perturbation grave du sous-système S conduira à la destruction de l'ensemble S1 + S2.

(9) Dans son excellent petit ouvrage « Le structuralisme » (Que sais-je - P.U.F.).

- perte de la capacité de coordonner et gouverner, de mémoriser et de se réorganiser, c'est-à-dire d'intégrer les sous-systèmes et les éléments qui composent le système en tenant compte des modifications externes.

Cette situation des systèmes complexes par rapport à la durée renvoie à l'équilibre qui doit s'instaurer entre les réponses à court terme et à long terme (ce que la science du comportement appelle **gradient de renforcement**). Cet équilibre exige des réseaux de communication dont les différents niveaux s'articulent correctement. Ce domaine d'étude inspire les recherches actuelles sur la tactique et la stratégie (pour la guerre, la politique, les entreprises, les organisations...).

Ces exigences se retrouvent, amplifiées, dans les systèmes de systèmes que constituent les jeux, les organisations et la société.

Les jeux constituent des systèmes réunissant plusieurs sous-systèmes à objectifs (ou auto-organisés) indépendants, c'est-à-dire poursuivant chacun leurs objectifs propres, et en interaction réciproque : tels sont les joueurs dans une partie de cartes, les stratégies de deux camps opposés, les partis politiques, etc.

Les organisations sont des systèmes constitués de plusieurs sous-systèmes à objectifs (ou auto-organisés) mais cette fois articulés hiérarchiquement les uns aux autres par intégration dans des réseaux de communication et de boucles. Telle est une administration de l'éducation avec ses équipes, ses services sectoriels, et les intérêts qu'il faut concilier.

Les sociétés enfin, sont constituées d'un grand nombre de systèmes à objectifs (ou auto-organisés) articulés suivant des hiérarchies **locales, partielles et révisables**, différentes selon les domaines d'activité considérés, et donnant lieu à des boucles de rétroaction des quatre types mentionnés ci-dessus, selon des réseaux très complexes. Nous entrons ici dans le domaine de la sociologie, de la science politique et des économies nationales, etc., et dans l'étude des conflits entre institutions, entre pouvoirs, avec la double préoccupation, qui est à l'origine de l'approche systémique :

- de comprendre à partir de modèles fonctionnels « cybernétiques » ;
- de se mettre en mesure d'agir avec l'efficacité maximum (recherche opérationnelle).

Il n'était pas possible, dans cet exposé, de faire état de toutes les origines et prolongements de l'analyse de système, qui vont de la bionique à l'automatisme, et à l'informatique, de la solution des problèmes (évoquée par J.-C. Laplace dans son article) aux théories de la décision et à la recherche opérationnelle.

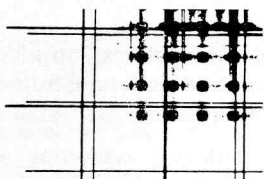
Cette dernière, qui s'appuie sur l'emploi des ordinateurs, s'applique aux choix à opérer entre plusieurs décisions. Pour ce faire :

- on transforme la situation en un modèle mathématique ;
- on manipule ce modèle pour dégager, en faisant varier des éléments, des schémas de solution possibles (stratégies) ;

– on calcule celle qui présente la meilleure efficacité, combinée au moindre coût, ou à la plus grande certitude et selon les objectifs à atteindre en priorité.

La recherche opérationnelle est donc au service du management et de la gestion scientifique des organisations.

Elle s'accompagne de méthodes rigoureuses de combinaison des **suites d'actions** nécessaires pour atteindre l'objectif : PERT (ou Programme Évaluation Research Task) qui recherche les points critiques où doivent confluer les séries d'actions partielles pour maîtriser les processus du changement social ou de l'innovation.



Ce panorama – trop bref et trop long – donne à entendre qu'il y a plusieurs façons d'utiliser cette approche « systémique » qui trouve son origine dans un regroupement interdisciplinaire des résultats et des méthodes de diverses sciences.

● Il y a l'**approche** par les systèmes qui dépasse et englobe la cybernétique et qui a pour objet principal l'étude des régulations.

● Il y a la **théorie générale** des systèmes dont l'objet fondamental consiste à dégager des principes valables pour les systèmes indépendamment de la nature des éléments (ou unités) qui les composent et des relations et des forces qui les unissent (par des recherches essentiellement mathématiques).

● Il y a l'**analyse de système**, qui est une méthode et un **des outils** de l'approche systémique. Prise isolément, elle consiste à réduire un système en ses composants et en ses interactions (et boucles de rétroaction s'il y a lieu). On trouvera de cette analyse des exemples dans le manuel d'analyse des systèmes édité en 1976 par l'Unesco en particulier pages 73-114 et une application dans l'article de J.-C. Laplante déjà souvent cité.

● Il faut enfin rappeler la double préoccupation – et le double usage – de ces approches ;

– d'une part **connaître** de manière non linéaire (cf. la comparaison avec l'approche analytique indiquée ci-dessus dans la partie II A) ;

– d'autre part, dans la ligne de la stratégie (militaire économique ou commerciale) et de la recherche opérationnelle, **agir** de façon plus efficace et en meilleure connaissance de cause en dégageant les vannes ou goulots d'étranglement, les points critiques, etc., qui décident de l'évolution d'un système – afin de déterminer les meilleurs chemins d'action à en parcourir (10).

Théorie d'une pratique et pratique d'une théorie sont ici indissociables.

On en trouvera deux illustrations à propos d'une dernière série de concepts liés à l'approche systémique : d'abord ceux de **modèle**, de **simulation** et d'**isomorphisme**, ensuite celui de **synergie** ;

● un système peut être d'origine **conceptuelle**, c'est à-dire fruit d'une activité intellectuelle qui construit des unités, des relations, et des variables des fonctions, etc., pour se donner un schéma intelligible d'une réalité, et de ses changements.

Or on peut, par un va-et-vient avec l'observation et l'expérimentation, découvrir des variables et des variations comparables, exprimables par les mêmes relations. On a alors une identité formelle ou **isomorphisme**, entre des parties du système conceptuel et le réel observable ou entre deux systèmes conceptuels, etc.

Le plus souvent, dans la réalité, on ne trouve pas de systèmes :

– où les relations internes soient parfaitement explicitées ;

– où les propriétés considérées soient quantifiables et en nombre défini ;

– où le comportement des variables soit bien connu.

Ordinairement : force est donc de construire des **modèles** conceptuels plus ou moins développés reflétant la structure des « systèmes » à étudier, ce qui permet d'orienter la recherche et de représenter les relations connues dans leurs facteurs et processus les plus importants. Ils **simulent donc artificiellement une situation de la réalité** qu'ils tentent de reproduire, en choisissant les entrées et les sorties les plus significatives. Un des critères de la compétence d'un spécialiste en recherche opérationnelle et en approche par les systèmes est sa capacité de développer un modèle qui représente au plus près l'ensemble de faits et relations qu'il étudie pour que l'emploi de calculs et d'ordinateurs oriente utilement la connaissance et l'action.

Une bonne simulation suppose donc qu'il y ait isomorphisme entre les deux ensembles.

Autrement dit, deux systèmes sont isomorphes lorsqu'ils ont même structure et que les relations rencontrées entre deux éléments de l'un se retrouvent en deux éléments correspondants de l'autre.

● La considération, en recherche appliquée, de contraintes, d'objectifs et de fonctions d'un système de façon simultanée, permet de dégager des solutions qui leur répondent simultanément.

Par exemple, s'agissant du système « moteur à explosion », on trouve à l'origine une addition de pièces répondant chacune à une fonction propre, et travaillant chacune à leur tour sans coopérer par intégration.

(10) Vous trouverez cette notion évoquée par le terme d'équifinalité des systèmes : lorsque ceux-ci sont capables de répondre à une même perturbation de façons différentes, et avec des résultats comparables, ce qui marque leur relative indépendance par rapport à l'environnement.

Alors apparaissent des structures de défense : la culasse du moteur se hérise d'ailettes de refroidissement, ajoutées de l'extérieur au cylindre et à la culasse et d'un circuit d'eau à partir d'un radiateur.

Puis, les ailettes vont à la fois assurer le refroidissement et renforcer – en tant que nervures de soutien, des culasses allégées – par une **convergence des fonctions** (objectifs et contraintes du système) par exemple, le moteur des 2 et 3 CV Citroën sans circuit à eau). Telle est la **synergie**, dont le lecteur pourra chercher des équivalents dans les institutions administratives, éducatives, etc. Cette synergie présente un caractère **synchronique**.

Mais, parallèlement, il faut s'interroger sur ce que signifie la « synergie **dans le temps** ».

Nous l'avions noté plus haut, dans une rapide revue des facteurs de dégradation, d'usure, et de disparition des systèmes par perte de capacité à s'informer, à mobiliser leurs ressources, à se coordonner, à se réorganiser, etc.

Dans tous ces cas, le futur proche l'emporte sur la prise en compte du long terme – il y a surévaluation des **structures** internes par rapport à leurs performances, et par rapport aux exigences d'adaptation.

Ce qui veut dire que les **temps d'action, les temps de réponse** propres à chaque domaine de fonctionnement d'un système complexe (vivant et social) ne sont plus pris simultanément en compte, ni coordonnés.

C'est principalement à propos de l'économie que ces allures « pathologiques » de fonctionnement – et leurs

conséquences sur les changements de structure des systèmes ont été analysées et éclairent la nature des crises économiques.

La déficience de synchronisme caractérise la dégradation de tels systèmes : les institutions se veulent stables, les boucles de rétroaction veulent corriger les flux qui circulent en rétablissant des situations antérieures alors que les forces en jeu appellent des adaptations selon des rythmes variés. Et ces combinaisons adaptatives, ces processus de cohésion se détraquent : « le bassin du fleuve est stable dans son flux et dans ses cycles, en tant que système ouvert sur l'évaporation, la pluie et les nuages. Il ramène toujours la même eau. Stable est le fluide, instable, par l'usure des berges, est le solide ».

Et plus loin « déchets, recyclage, mémoire, croissance de complexités : l'organisme vivant est de tous les temps. Tous les vecteurs temporels sont ici disposés en étoile. Qu'est-ce qu'un être vivant ? Un bouquet de temps. Un système vivant, une gerbe de temps » (11).

Le panorama des principaux aspects de l'approche systémique peut sembler terriblement désincarné. Mais mieux comprendre l'harmonie, l'organisation et la structure internes d'un concerto diminue-t-il l'émotion et la joie d'écouter la symphonie – systémique elle aussi à sa manière – des parties instrumentales ?

Bernard CLERGERIE
Audecam

(11) Michel Serres, *Critique 1975, le point de vue de la biophysique*.

sélection de quelques documents importants

Le thème de la communication dans l'éducation est tellement vaste et les ouvrages qui y sont consacrés nombreux, que nous nous limitons très sélectivement à quelques-uns d'entre eux, qui permettent toutefois de se référer à un ensemble important d'autres études, suivant les intérêts de nos lecteurs.

Par ailleurs, on aura pu noter dans les articles qui précèdent des bibliographies spécifiques au sujet traité.

● Ouvrages :

LA BORDERIE R.	Les images dans la société et l'éducation.	Casterman, Paris, 1972.
CLOUTIER J.	La communication audio-scripto-visuelle à l'heure des self-media.	Les presses de l'université de Montréal, 1974.
DECAIGNY T.	Technologie éducative et audio-visuelle.	Fernand Nathan, éditions Labor, Bruxelles, 1972.
	Communication audio-visuelle et pédagogie.	Paris, Nathan, 1973.
DIEUZEIDE H.	Les techniques audio-visuelles dans l'enseignement.	Paris, P.U.F., 1965.
Viviane et Gilbert DE LANDSHEERE	Définir les objectifs de l'éducation.	Paris, P.U.F., 1975.
LEFRANC R.	L'éducation en image. La contribution des moyens audio-visuels à la formation des enseignants.	Paris, Armand Colin, 1971.
MAC LUHAN M.	Pour comprendre les media.	Paris, Mame, 1968.

MAC LUHAN M.	Mutations 1990.	Paris, Mame, 1969.
MIALARET G.	Psychopédagogie des moyens audio-visuels.	Paris, P.U.F., 1969.
MOLES A.	Sociodynamique de la culture.	Paris, Mouton, 1968.
MOLES A. assisté de Claude LEITMAN	La communication, les dictionnaires du savoir moderne.	Centre d'Étude et de Promotion de la Lecture, Paris, 1971. Deuxième édition, Marabout Université, 1973.

Ce livre constitue un véritable précis d'initiation à l'usage du public universitaire et du public cultivé qui désire s'informer et préciser ses idées sur ce qu'on appelle maintenant la Science de Communication, qui est enseignée dans de nombreuses sections nouvelles des universités.

L'ouvrage, le premier à paraître en langue française sur ce sujet, résulte de la refonte totale et de la révision par l'auteur, et ses chercheurs de l'université de Strasbourg, d'une première version, plus sommaire, réalisée par le Centre d'étude et de promotion de la Lecture de Paris, en fonction de l'expérience acquise et de nouvelles connaissances. Cet ouvrage a été réalisé pour fournir une compréhension de tous les aspects d'une nouvelle discipline à tous les lecteurs que la notion de Communication, les idées de Mac Luhan, de Shannon, la théorie des

mass media, les processus de perception, d'information, de sociologie des communications intéressent. Cette discipline attire un public croissant dans le mesure où l'on tend à considérer que la Communication apparaît comme une des nouvelles dimensions des sciences sociales.

L'auteur est le principal spécialiste européen dans ce domaine. Professeur à l'Université de Strasbourg, Conseiller de l'Unesco, il a eu à enseigner les différents aspects de cette discipline dans un grand nombre de pays. On trouvera dans cette encyclopédie, organisée par ordre alphabétique et très richement illustrée, une introduction théorique claire à ce qu'est la Communication, mais aussi les lois de cette science, leurs applications aux principaux aspects de la communication personnelle ou de masse, de la radio, de la télévision, du

livre, du courrier, du téléphone ; on y trouvera en même temps un ensemble de données, de résultats, de connaissances illustrées très clairement par des exemples nombreux.

De la « lettre d'amour » à la « communication tactile » ou aux « figures ambiguës » l'étudiant, le curieux, de chercheur trouveront présentés, non sans humour, les principaux résultats d'une science en devenir sur laquelle les interprétations erronées sont innombrables. Les principaux mots, Communication, Intégration et Perception, Politique Culturelle, Image, Mass media, sont développés dans des articles d'une trentaine de pages et accompagnés de tout un vocabulaire : 500 items tels que brevet, micro-sociométrie, matrice de confusion, schématisation, exploration, qui font désormais partie du langage de l'homme cultivé.

MORIN E.	Le paradigme perdu,	Paris, Le Seuil, 1974.
TARDY H.	Le professeur et les images.	Paris, P.U.F., 1968.
DE ROSNAY J.	Le microscope.	Paris, le Seuil, 1975.
GEMINARD	L'enseignement éclaté.	Paris, Casterman, Collection Orientation, 1973.
VATLAWICK, HELMICK BEVAN et J.K.F. JACKSON	La logique de la communication.	Paris, le Seuil, 1973.

- **La technologie de l'enseignement, conception et mise en œuvre de systèmes d'apprentissage.** Centre pour la recherche et l'innovation dans l'enseignement, Paris, O.C.D.E., 1971.
- **L'éducateur et l'approche systémique.** Manuel pour améliorer la pratique de l'éducation dans les pays en voie de développement, Paris, Unesco, 1976. (Une refonte de cet ouvrage est en cours, par Guy Berger et Étienne Brunswick, qui ont adapté ce premier volume.)
- **L'information audio-visuelle transculturelle.** Études et Documents d'information, n° 77, Paris, Unesco, 1976.

● Revues

- **Direct** a publié un numéro spécial sur « Communication et éducation », avril 1975. Agence de Coopération Culturelle et Technique, 19, avenue de Messine, 75008 Paris.

COMMUNICATION ET LANGAGE	Centre d'étude et de promotion de la lecture.	114, av. des Champs-Élysées, 75008 Paris.
ÉDUCATION 2000, C.I.T.E.	Centre d'information sur les Techniques d'Enseignement.	5, quai aux Fleurs, 75004 Paris.
MEDIA	Revue des techniques modernes d'éducation.	Ofrateme-diffusion, 29, rue D'Ulm, 75230 Paris Cedex 05.
MESSAGES	Pour l'incitation à la communication audio-visuelle.	Centre de Recherche et de Documentation Pédagogique de Bordeaux, 75, cours d'Alsace-Lorraine, 33075 Bordeaux Cedex.