

1. LES FONDEMENTS THÉORIQUES DE L'APPROCHE SYSTÉMIQUE.

Depuis quelques décennies, un mouvement théorique et méthodologique tournant autour du concept de système se développe dans le domaine des sciences et techniques. Ce courant a reçu, suivant la discipline, diverses appellations plus ou moins équivalentes : analyse de systèmes, analyse systémique, analyse structurelle, analyse fonctionnelle, approche systémique. WALLISER (2) précise que "ces approches ont des contours relativement flous et un contenu imprécis pour l'instant, mais que ce courant semble répondre à trois préoccupations essentielles ;

- **la volonté de restaurer une approche plus synthétique** qui reconnaisse les propriétés d'interactions dynamiques entre les éléments d'un ensemble,
- **le besoin de mettre au point une méthode** qui permette de mobiliser et d'organiser les connaissances pour concevoir et maîtriser des ensembles vastes et complexes,
- **la nécessité, face à une fragmentation et une dispersion du savoir, de promouvoir un langage unitaire**, qui puisse servir de support à l'articulation et à l'intégration de modèles théoriques et préceptes méthodologiques épars dans diverses disciplines".

Historiquement, poursuit WALLISER "ces préoccupations ont diverses sources ;

- la première préoccupation apparaît à diverses étapes du développement scientifique en opposition à une vision trop atomistique et statique de l'objet étudié,
- la seconde résulte d'une exigence accrue d'efficacité dans la conception et la gestion de systèmes hommes-machines. Cette préoccupation s'est affirmée d'abord sur des systèmes technologiques, puis s'est étendue à la prise de décision et à l'organisation dans les entreprises et les systèmes socio-économiques,
- la troisième préoccupation correspond au désir d'une plus grande pluridisciplinarité afin de restructurer un savoir parcellisé. Elle se traduit d'une part par la recherche d'une meilleure articulation entre les disciplines et d'autre part par la recherche de modèle commun à des systèmes très variés" (théorie des jeux de NEUMANN, théorie générale des systèmes de BERTALANFFY).

1.1. LES FONDATEURS DE L'APPROCHE SYSTÉMIQUE

Une des premières réflexions sur le concept de systèmes fut conduite par BERTALANFFY (3) dès les années 1920. Sur le plan philosophique, BERTALANFFY a été formé dans la tradition néo-positiviste du cercle de Vienne. Toutefois, l'intérêt qu'il portait au mysticisme allemand et à l'histoire de l'art excluait qu'il devînt un bon positiviste. Il se sentait plus proche du groupe berlinois de la "société de philosophie empirique" des années 1920.

Dans les années 1925, la procédure mécaniste consistait essentiellement à réduire l'organisme vivant en parties et en processus partiels : l'organisme était une agrégation de

2 B. WALLISER. "Systèmes et modèles, introduction à l'analyse de systèmes". Editions du Seuil, Paris. 1977. p. 9.

3 L. VON BERTALANFFY. "Théorie générale des systèmes" Dunod, Paris. 1991. (1ère Edition Bordas, Paris. 1973).

cellules, la cellule une somme de colloïdes et de molécules organiques et ainsi de suite. Les problèmes de l'organisation de ces parties au service de l'organisme, de la régulation après une perturbation étaient laissés de côté. L'approche mécaniste qui prévalait semblait négliger ce qu'il y a d'essentiel dans le phénomène de la vie. BERTALANFFY fut très vite conduit à considérer que les organismes sont des objets organisés et c'est cette **organisation** que les biologistes doivent étudier. Il essaya de réaliser ce programme organique dans diverses études sur le métabolisme, la croissance et la biophysique de l'organisme. Un pas dans cette direction fut fait par la théorie des systèmes ouverts et des états stables qui est essentiellement une extension de la chimie-physique, de la cinétique et de la thermodynamique classique. BERTALANFFY proposa une conception organique de la biologie montrant l'importance de **l'organisme considéré comme un tout** ou un système et donnant pour objectif principal aux sciences biologiques : la découverte des principes de l'organisation à tous ses niveaux.

Il apparut très vite le besoin de généraliser la direction prise et il fut vite conduit à mettre en oeuvre une théorie qu'il intitulait "General System Theory". Cette théorie a été présentée au séminaire de philosophie de Charles MORRIS à l'université de Chicago en 1937. Malheureusement, les théories étaient mal vues en biologie à l'époque et il fut contraint de laisser ces brouillons au tiroir.

C'est après la seconde guerre mondiale qu'un changement de climat intellectuel eut lieu. La construction des modèles et des généralisations abstraites était devenue à la mode. Trois grands mouvements scientifiques ont suivi des lignes de pensées parallèles ;

- la théorie des jeux de NEUMANN,
- la cybernétique de WIENER,
- la théorie de l'information de SHANNON.

La théorie générale des systèmes de BERTALANFFY n'était plus isolée. Elle correspondait à une tendance de la pensée moderne.

1.1.1. LA THÉORIE DES JEUX DE NEUMANN (1947) (4)

Elle est parmi les techniques de recherche opérationnelle celle qui s'occupe spécialement des situations dans lesquelles plusieurs personnes ont à prendre des décisions dont dépend un résultat qui les concerne. Les diverses techniques d'analyses scientifiques peuvent intervenir simultanément dans un problème, mais on dit qu'il s'agit d'un problème de jeu lorsque sa difficulté est particulièrement liée à la présence de plusieurs centres de décision. Il en est souvent ainsi dans les problèmes économiques, politiques, diplomatiques, militaires. Dans une telle situation, il y a la place pour deux facteurs essentiels, la coopération et la lutte. Il est clair, en effet, que les personnes en présence, les joueurs, ont des intérêts qui peuvent concorder sur certains terrains et s'opposer sur d'autres.

4 "La théorie des jeux". Extraits de l'Encyclopédie Universalis. p. 485 et suivantes.

On peut distinguer trois classes de jeu, selon le rôle qu'y jouent la coopération et la lutte.

- dans les jeux de coopération à l'état pur, tous les joueurs ont des intérêts concordants, de sorte qu'ils se forment une coalition se comportant comme un joueur unique. L'étude de leurs décisions relève donc plutôt de la théorie des programmes. Cependant l'étude des conditions dans lesquelles il est possible de dégager un intérêt général auquel puisse se rallier un ensemble de joueurs relève de la théorie des jeux : c'est le problème de l'agrégation des préférences individuelles, qui éclaire celui de la formation des alliances.
- dans les jeux de lutte à l'état pur, aucune possibilité de coopération n'existe entre les joueurs. Il en résulte que ces jeux sont des duels, c'est à dire des jeux à deux joueurs dont les intérêts sont strictement opposés. Bien que deux joueurs engagés dans un conflit s'opposent rarement sur tous les terrains, l'étude du duel est indispensable, non seulement parce qu'elle peut tout de même s'appliquer à certains conflits bien délimités où le rôle de la coopération est négligeable, mais aussi parce qu'elle contribue à l'étude des jeux plus généraux, à l'intérieur desquels il est souvent utile de considérer la possibilité de certains duels entre deux coalitions complémentaires. La théorie du duel cherche à mettre en évidence un ou plusieurs résultats privilégiés selon certains points de vue (prudence ou équilibre) pour l'un ou l'autre joueur. C'est la partie la plus achevée de la théorie des jeux.
- dans les jeux de lutte et de coopération se rencontrent simultanément des intérêts concordant et des intérêts divergents. Ces jeux se prêtent mieux que les duels à la représentation des situations réelles, bien qu'il soit plus difficile de les étudier systématiquement en raison de la variété des aspects que peut prendre la coopération, selon les modalités de la communication entre les joueurs et les possibilités de formation et d'évolution des alliances (il s'agit de véritables conditions sociologiques). La théorie des jeux de lutte et de coopération propose plusieurs points de vue pour l'analyse de ces jeux (rationalité et stabilité) et faute de pouvoir en général isoler des résultats privilégiés, elle cherche à mettre en évidence des classes de résultats, privilégiés en tant que classes selon ces points de vue. Mais cette théorie ne peut présenter la même unité que la théorie du duel. Pour aborder un problème de jeu, il faut d'abord construire un modèle, représentant plus ou moins fidèlement la situation réelle. L'étude de ce modèle, selon la théorie des jeux, peut avoir pour objet, soit de guider les joueurs dans leur manière de jouer effectivement le jeu, soit de les aider à atteindre, par marchandage ou arbitrage, une solution de compromis qui tienne compte de leurs moyens d'action et de leurs intérêts respectifs soit enfin d'expliquer l'évolution d'une situation concrète par référence à des principes unificateurs d'une portée plus générale.

1.1.2. LA CYBERNÉTIQUE DE NORBERT WIENER (1948) (5)

Le terme "Cybernétique" a été forgé à partir du grec kubernesis, qui signifie au sens propre "action de manoeuvrer un vaisseau" et au sens figuré "action de diriger, de gouverner". Utilisé pour la première fois par Ampère pour désigner l'art du gouvernement, il a été mis en circulation, dans sa version actuelle, par le célèbre ouvrage de Norbert WIENER : "Cybernetic or control and communication in the animal and the machine (1948)". WIENER fait la synthèse de toute une série de recherches poursuivies dans le domaine des mathématiques pures (théorie de la prédiction statistique) dans le domaine de la technologie (machine à calculer, télécommunication) dans ceux de la biologie et de la psychologie, et jette les bases d'une science nouvelle, à support mathématique, destinée à couvrir tous les phénomènes qui, d'une manière ou d'une autre mettent en jeu des mécanismes de traitement de l'information. Derrière les développements théoriques de WIENER, il y a bien entendu des problèmes concrets, relatifs par exemple au transport des messages à travers des réseaux de communication, ou à la régulation des systèmes biologiques. Ces problèmes sont eux-mêmes liés à l'apparition, depuis la fin du siècle dernier, des machines d'un nouveau genre, analogues d'un certain côté au système nerveux.

Historiquement, on peut distinguer dans l'évolution des machines trois grandes périodes ;

- **les machines de types mécaniques** mettent en oeuvre les principes de la statique et de la dynamique classique. On trouve dans cette catégorie les engins capables de transmettre ou d'amplifier la force appliquée en un point comme le levier, le treuil, la grue et aussi les machines d'un mouvement périodique régulier, comme les pendules et tous les mécanismes d'horlogerie.
- **les machines énergétiques**, capables de transformer une forme d'énergie en une autre et de rendre utilisables les énergies de la nature, mettent en oeuvre les principes de la thermodynamique, de l'électrodynamique et de la théorie atomique. On trouve dans cette catégorie la machine à vapeur, le moteur à explosion, les génératrices d'électricité, le moteur thermique, les différentes espèces de moteur à réaction, le réacteur atomique.
- **les machines "informatiques"** qui prolongent en quelle sorte le système nerveux et non comme les précédentes le système musculaire. Ce qui est propre à ce genre de machines, c'est qu'elles utilisent et transforment l'information. En voici quelques exemples. Les machines à transmission (téléphone, radio) transportent une information d'un point de l'espace en une autre. Les machines à calculer analogique ou numérique, résolvent des problèmes mathématiques ou logiques, conformément à des règles, à partir d'informations données.

Les machines à comportement s'adaptent à une situation extérieure et y répondent d'une manière appropriée conformément à certains critères. La caractéristique la plus frappante de ces différentes machines, c'est qu'elles se présentent comme des automates. Ce sont des systèmes matériels qui effectuent des opérations plus ou moins complexes, conformément à certaines normes, sans intervention humaine. Un automate met en oeuvre un programme et doit être

5 "Cybernétique". Extraits de l'Encyclopédie Universalis. p. 485 et suivantes

capable de contrôler ses opérations. Or un programme est une suite d'instructions, indiquant des opérations à effectuer dans un ordre donné : c'est bien un ensemble d'informations. Et d'autre part les mécanismes de contrôle sont basés sur la rétroaction. C'est donc bien la notion d'information qui apparaît comme centrale. Le problème scientifique essentiel qui se présente donc, dans l'étude des machines du troisième genre, est celui du **traitement de l'information**. Comme l'un des aspects importants de ce problème concerne l'analyse des mécanismes de régulation, on comprend qu'on ait donné le nom de cybernétique à la science chargée d'étudier le comportement des automates. Dans la mesure où un système est muni de mécanismes de régulation, il peut contrôler son propre fonctionnement et donc se gouverner lui-même. C'est bien la propriété essentielle de l'automate.

La cybernétique permet de développer des analogies fort instructives entre les automates et d'autres systèmes : systèmes nerveux, systèmes vivants, systèmes du comportement, systèmes sociaux. Il ne s'agit, bien entendu, que d'analogies, car ces divers systèmes ont une constitution fort différente de celle des automates et possèdent des propriétés que l'on ne retrouve que dans les automates.

Mais on peut rapprocher ces systèmes au point de vue de leur mode de fonctionnement. Ils présentent, de ce point de vue, une certaine communauté de structure qu'il appartient à une théorie générale de dégager. La cybernétique se trouve ainsi au point fort de rencontre de plusieurs disciplines : mathématique, logique, électronique, philosophie, sociologie.

Le véritable objet de la cybernétique est d'ordre abstrait ; elle ne s'intéresse pas au système concret qui opèrent sur l'information, en tant que tels, mais sur la **structure logique de leur fonctionnement**. Il convient donc de distinguer la cybernétique, prise au sens strict, de la théorie de l'information, qui construit une définition quantitative, purement objective, de la notion de l'information, et étudie, sur cette base, les problèmes relatifs à la manipulation effective de l'information dans les systèmes physiques. La cybernétique est alors l'étude des systèmes considérés sous l'angle de la commande et de la communication. Dans cette définition, *"un système est un ensemble de phénomènes et d'événements interdépendants que l'on extrait du monde extérieur, par une démarche intellectuelle arbitraire, en vue de traiter cet ensemble comme un tout"*. Les actions du monde extérieur sur le système se traduiront par l'existence de variable de sortie. L'étude d'un système consiste, une fois que ses variables d'entrée et de sorties ont été définies, à rechercher les relations traditionnelles qui existent entre ces variables, c'est à dire à établir un modèle mathématique du système.

1.1.3. LA THÉORIE DE L'INFORMATION DE SHANNON ET WEAVER (1949) (6)

La théorie de l'information est de façon plus précise une théorie statistique de la communication. Le premier exposé synthétique de cette théorie est dû à Claude SHANNON, ingénieur à la Bell Telephone. On est alors conduit à étudier d'une part l'information proprement dite (quantité d'information, entropie), d'autre part les propriétés des canaux (capacités) et enfin

6 "La théorie de l'information". Extraits de l'Encyclopédie Universalis. p. 1009 et suivantes

les relations qui existent entre l'information à transmettre et le canal employé en vue d'une utilisation optimale de celle-ci. On pourra ainsi considérer la théorie de l'information comme une théorie au sens large.

Elle intervient une fois qu'un signal est envoyé et s'applique, par conséquent, aussi bien à la téléphonie, à la télégraphie et au radar qu'à la physiologie du système nerveux ou à la linguistique, où la notion de canal se retrouve dans la chaîne formée par l'organe de phonation, les ondes sonores et l'organe auditif. En fait les concepts de base de la théorie de l'information sont d'une telle généralité qu'il est possible de les introduire dans n'importe quelle discipline, des mathématiques à la sociologie, mais il faut ajouter que les tentatives faites en ce sens n'ont que rarement apporté les progrès que l'on attendait.

Une information désigne, par définition, un ou plusieurs événements parmi un ensemble fini d'événements possibles. Si, cherchant un document dans un dossier, l'on dit que ce document se trouve dans un dossier rouge, on donne une information qui réduira d'autant plus le temps de recherche que le nombre de dossiers rouges est plus restreint. Si maintenant on ajoute que le document est dans un petit dossier rouge, on fournit une nouvelle information qui abrège encore le temps des recherches. Sur un plan purement pratique, une information étant d'autant plus intéressante qu'elle diminue davantage le nombre de possibilités ultérieures, on a été conduit à définir la quantité d'informations.

Pour transmettre un message, il faut un code dépendant de la nature du canal de transmission (l'écriture, la parole, le code Morse, etc.). Pour qu'un code soit utilisable, il faut qu'il soit non singulier (tous les mots du code doivent être distincts) et à décodage unique, c'est à dire non ambigu à la réception. Afin d'améliorer la rapidité de la transmission, on est amené à minimiser la longueur d'un code, donc à attribuer les mots codes les plus courts aux symboles les plus fréquents ; c'est ce que fit Morse de façon plus ou moins intuitive quand il créa le code qui porte son nom, et c'est aussi la méthode qu'utilisa HUFFMAN, mais de façon plus systématique, lorsqu'il proposa sa méthode pour la recherche des codes de longueur minimale.

La théorie de l'information consiste donc à étudier les propriétés d'une liaison informationnelle notamment ; l'efficacité et la redondance des codes, la fiabilité d'un codage en présence de bruit, la vitesse de transmission d'un message. SHANNON a démontré qu'il existe un codage optimal conduisant à des vitesses de transmission aussi voisines que l'on veut de la capacité du canal de transmission et qui permettent de rendre la probabilité d'erreur de transmission inférieure à tout nombre donné à l'avance.

1.2. LA THÉORIE GÉNÉRALE DES SYSTÈMES

1.2.1. L'UTILITÉ DE LA THÉORIE GÉNÉRALE DES SYSTÈMES

Les différentes théories ci-dessus ont été développées en parallèle avec le développement de la théorie générale des systèmes. Elles sont toutes basées sur le traitement de l'information.

BERTALANFFY (7) nous rappelle que *"dans les domaines biologiques, sociologiques et du comportement, d'importants problèmes étaient négligés par la science traditionnelle, quelquefois, n'étaient même pas pris en considération. Dans un organisme vivant, nous observons un ordre surprenant, une organisation, un continuel changement, une régulation et une apparente téléologie (8). Cependant des concepts comme ceux d'organisation, de direction, de téléologie n'apparaissent pas dans le système scientifique classique. En fait selon la vision mécaniste du monde fondée sur la physique classique ils étaient considérés comme illusoires, métaphysiques"*.

Le but de la théorie générale des systèmes est de formuler les principes valables pour tout système et d'en tirer les conséquences. La physique s'occupe de systèmes ayant différents niveaux de généralité : systèmes assez spéciaux utilisés par l'ingénieur pour construire un pont ou une machine.

BERTALANFFY (9) explique que *"nous devons rechercher des principes qui s'emploient pour des systèmes en général, sans se préoccuper de leur nature, physique, biologique, ou sociologique. Si nous posons ce problème et si nous définissons bien le concept de système, nous constatons qu'il existe des modèles, des lois et des principes qui s'appliquent à des systèmes généralisés; leur espèce particulière, leurs éléments et les forces engagées n'interviennent pas"*.

Les systèmes qui décrivent la rivalité entre les espèces animales et végétales ont des modèles qui s'appliquent à certaines branches de la physique-chimie ou de l'économie. Il y a correspondance dit BERTALANFFY, *"parce que les entités en question peuvent être considérés, à certains égards, comme des systèmes, c'est à dire des ensembles d'éléments en interaction les uns avec les autres"*.

On aboutit à une correspondance des principes généraux et même à des lois particulières, quand les conditions des phénomènes considérés correspondent. En fait, on a souvent découvert simultanément dans des domaines distincts, et de façon indépendante, des modèles et des lois identiques ; ceci à partir de faits totalement différents. *"Beaucoup de principes similaires ont été découvert à la fois. Ceux qui travaillaient dans une branche ignoraient que la structure théorique qu'ils cherchaient existait déjà dans une autre branche"*. La théorie générale des systèmes, rappelle BERTALANFFY (10), *"sera très utile pour éviter une telle multiplication inutile du travail. Cette théorie serait un outil utile. Son fondateur précise "qu'elle fournirait d'un côté des modèles utilisables par diverses disciplines et transférables de l'une à l'autre, d'un autre côté elle permettrait d'éviter ces analogies vagues qui ont souvent gâché les progrès de ces disciplines"*.

7 L. VON BERTALANFFY. "Théorie générale des systèmes". Dunod, Paris. 1991.

8 Téléologie : "Etude de la finalité. Science des fins de l'homme. Doctrine qui considère le monde comme un système de rapports entre moyens et fins". Définition du petit robert. 1986. p 1934.

9 L. VON BERTALANFFY. "Théorie générale des systèmes". Dunod, Paris. 1991. p 32.

10 L. VON BERTALANFFY. "Théorie générale des systèmes". Dunod, Paris. 1991.

1.3. LES CONCEPTS FONDAMENTAUX.

Selon DURAND (11), quatre concepts fondamentaux doivent être présents dans un système.

L'**interaction** entre les éléments d'un système est l'action réciproque modifiant le comportement ou la nature de ces éléments. DURAND précise "*que contrairement à ce qu'indiquait la science classique, la relation entre deux éléments n'est pas obligatoirement une simple action causale d'un élément A sur un élément B, elle peut comporter une double action de A sur B et de B sur A*". "*De nombreux types d'interactions peuvent lier deux éléments d'un système ;*

- *la relation classique de cause à effet,*
- *la relation temporelle dans laquelle un événement A est suivi avec un certain décalage d'un événement B,*
- *la relation dite de réaction, ou de feed-back dans laquelle une action de B sur A est suivie d'une action de A sur B. C'est une mise en évidence du modèle cybernétique.*
- *l'interaction indirecte dans laquelle une action partie de A est passée par B et C puis revient à A, créant ainsi une boucle plus ou moins longue et compliquée*".

La **totalité** - L'expression "**un tout est plus que la somme de ses parties**" signifie simplement précise BERTALANFFY que "*les caractéristiques constitutives ne peuvent s'expliquer à partir des caractéristiques des parties prises isolément*". D'après BERTALANFFY (12), un système peut être défini mathématiquement comme "**un complexe d'éléments en interaction**. Par interaction, nous entendons des éléments p liés par des relations r , en sorte que le comportement d'un élément p dans R diffère de son comportement dans une relation R' . Un système peut être défini mathématiquement de plusieurs façons comme exemple un système d'équations différentielles simultanées. Alors, le système considéré serait un tout non seulement du point de vue spatial, mais aussi du point de vue temporel".

DURAND indique que "**l'organisation** revêt deux aspects qu'il faut généralement examiner séparément : un aspect structurel et un aspect fonctionnel". L'aspect structurel sera généralement représenté sous forme d'un organigramme, tandis que l'aspect fonctionnel pourra être décrit par un algorithme ou par un algorigramme.

"La **complexité** n'est pas la complication" a dit MORIN (13). La notion de complexité ne se confond pas avec celle beaucoup plus simple de complication. Celle-ci n'est que la caractéristique d'un objet ou d'un système qui ne demande pas beaucoup de temps pour être compris, tandis que le complexe requiert pour être assimilé temps, méthode et intelligence. Le degré de complexité d'un système dépend à la fois du nombre de ses éléments et du nombre et des types de relations

11 D. DURAND. "La systémique". Que sais-je?. Presses Universitaires de France. 2ème édition. 1983. p. 9.

12 L. VON BERTALANFFY. "Théorie générale des systèmes". Dunod, Paris. 1991. p 53.

13 E. MORIN. "La méthode Tome 1". Le Seuil, Paris. 1977. p. 377.

qui lient ces éléments entre eux. LE MOIGNE (14) indique que *"les systèmes complexes ne sont pas réductibles à des modèles explicatifs, ils nous sont pourtant intelligibles. Nous ne pouvons pas les réduire à des modèles "prêt à porter", mais nous pouvons à chaque instant les modéliser, autrement dit élaborer et concevoir des modèles eux mêmes potentiellement complexes"*.

1.4. DESCRIPTION D'UN SYSTÈME

Un système peut être décrit sous son aspect structurel et sous son aspect fonctionnel.

D'après DURAND, sous son aspect structurel, un système comprend quatre composants ;

- une frontière qui l'isole de son environnement pour mieux le comprendre, pour mieux le connaître, pour mieux l'étudier, sans pour autant le couper de son environnement. La frontière permet de mieux caractériser les entrées et les sorties qui matérialisent les rapports du système avec son environnement. On distingue trois types d'entrées et de sorties suivant la typologie des éléments composant le système ;

- * matière (produit solide, liquide, ou gazeux),
- * énergie,
- * information.

- des éléments qui peuvent être identifiés, dénombrés et classés,
- un réseau de transport et de communication qui véhicule soit des matières solides, liquides ou gazeuses, soit de l'énergie, soit des informations,
- des réservoirs dans lesquels est stocké de la matière, de l'énergie ou de l'information.

Sous son aspect fonctionnel, un système comporte ;

- des flux de natures diverses : de matières, de produits, d'énergie, de monnaies, ou de l'information. Ces flux circulent dans les divers réseaux et transitent dans les réservoirs du système.
- des centres de décisions qui reçoivent les informations et les transforment en actions en agissant sur les débits des différents flux.
- des boucles de rétroactions qui ont pour objet d'informer les décideurs de ce qui se passe en aval et donc de prendre leurs décisions en connaissance de cause.
- des délais qui permettent de procéder aux ajustements dans le temps nécessaire à la bonne marche du système. Ces délais jouent un rôle semblable à celui des réservoirs dans la description structurelle.

1.4.1. RAPPORTS AVEC L'ENVIRONNEMENT

Il y a une distinction bien établie entre systèmes ouverts et systèmes fermés. Les systèmes ouverts sont ceux qui pratiquent des échanges nombreux avec l'environnement. Les systèmes fermés sont ceux qui vivent entièrement repliés sur eux-mêmes.

14 J.L. LE MOIGNE. *"La modélisation des systèmes complexes"*. Dunod, collection AFCET Systèmes, Paris. 1991. p 4.

BERTALANFFY (15) indique que *"la physique traditionnelle ne traite que des systèmes fermés, c'est à dire que des systèmes considérés comme isolés de leur environnement. Le second principe de la thermodynamique établit que dans un système fermé, une certaine quantité appelé entropie doit croître jusqu'à un maximum, et qu'éventuellement le processus s'arrête en état d'équilibre. Le second principe peut être formulé de diverses manières ; en particulier, l'entropie est une mesure de probabilité; donc un système fermé tant vers un état de distribution la plus probable. Cependant la distribution la plus probable d'un mélange, par exemple de perles de verre, rouges ou bleues, ou de molécules ayant des vitesses différentes est un état de désordre complet ; il est hautement improbable d'obtenir un état où toutes les perles rouges soient séparées d'un côté et les bleues. Ainsi la tendance à une entropie maximum ou à la distribution la plus probable est une tendance au plus grand désordre. On trouve des systèmes qui par leur nature même ou leur définition ne sont pas des systèmes fermés"*.

Tout organisme vivant est essentiellement un système ouvert. Il échange toujours avec l'extérieur ne serait ce que de l'énergie. BERTALANFFY (16) précise que *"l'organisme vivant maintient dans un flux entrant et un flux sortant continu, une génération et une destruction de composants. Les formulations conventionnelles de la physique ne s'appliquent pas, en principe à l'organisme vivant considéré comme un système ouvert et stable. Dans un système fermé, l'état final est déterminé de façon univoque par les conditions initiales; par exemple, le mouvement dans un système planétaire, ou les positions des planètes au temps t sont déterminées uniquement par leur position au temps t_0 . Si l'on change les conditions initiales ou le processus, l'état final sera aussi modifié. Il n'en va pas ainsi dans les systèmes ouverts. Le même état final peut être atteint à partir de conditions initiales différentes ou par des chemins différents. C'est ce que l'on appelle l'équifinalité; elle a une grande signification pour les phénomènes de régulation biologique"*.

On reconnaît maintenant que la vision de système fermé n'est qu'un concept théorique ; en fait il n'existe que des systèmes qui sont plus ou moins ouverts sur leur environnement. Les systèmes les plus ouverts sont généralement ceux qui réagissent le mieux et peuvent s'adapter face aux conditions changeantes de cet environnement ; ils doivent cependant, précise DURAND (17), *"garder un certain degré de fermeture pour assurer leur maintien et leur identité, sinon ils se dissoudraient en quelque sorte dans cet environnement"*.

1.4.2. L'ORGANISATION HIÉRARCHIQUE DES SYSTÈMES

DURAND (18) affirme que *"sans organisation, il n'y a que chaos"*. Dans un premier temps, on pourrait considérer que tout système pourrait être décomposé en un certain nombre de sous systèmes. Mais cette approche structurelle est peu explicative. Dans un deuxième temps, une

15 L. VON BERTALANFFY. "Théorie générale des systèmes". Dunod, Paris. 1991. p 37.

16 L. VON BERTALANFFY. "Théorie générale des systèmes". Dunod, Paris. 1991. p 38

17 D. DURAND. "La systémique". Que sais-je?. Presses Universitaires de France. 2ème édition. 1983. p. 16.

18 D. DURAND. "La systémique". Que sais-je?. Presses Universitaires de France. 2ème édition. 1983. p. 16.

approche fonctionnelle nous permet de comprendre comment fonctionne le système. On découvre alors que ce fonctionnement est de nature hiérarchique.

SIMON (19) présente l'histoire de deux horlogers qui montaient les mêmes montres composées de 100 pièces. L'un procédait pièce à pièce sans étape intermédiaire, l'autre commençait à monter des sous ensembles de 10 pièces qu'il assemblait ensuite. Pour une probabilité d'interruption dans l'assemblage de 1%, il faudra en moyenne quatre mille fois plus de temps au premier pour achever sa montre qu'au second. DURAND (20) pense que *"l'organisation est le chaînon manquant entre les vues trop schématiques de deux théories du comportement ; Celle des behavioristes qui voit dans chaque action la simple réponse à un stimulus externe ou interne, celle des gestaltistes qui considèrent l'organisme comme un tout qui ne fournit que des réponses globales"*.

L'organisation est d'abord un agencement de relations entre composants ou individus qui produit une nouvelle unité possédant des qualités que n'ont pas les composants pris séparément. En physique, un atome, un cristal ou une molécule sont des organisations. En biologie, les organismes sont par définition, des objets organisés. Les notions de totalité, de croissance, de différenciation, d'ordre hiérarchique, de domination, de commande, de compétition, sont des caractéristiques de l'organisation, que ce soit celle d'un être vivant ou d'une société. Il est possible de définir de telles notions à l'intérieur du modèle mathématique d'un système. BERTALANFFY cite que la théorie biologique de VOLTERRA et la théorie de l'économie quantitative sont isomorphes sous beaucoup d'aspects. Cependant, des organisations ne se prêtent pas facilement à l'interprétation quantitative.

1.4.3. LA CONSERVATION DES SYSTÈMES

Hiérarchiquement organisé, un système doit assurer sa conservation, sa survie à l'aide des boucles de réaction, des délais et des stocks sans lesquels le système irait à sa destruction.

1.4.4. L'ÉVOLUTION DES SYSTÈMES.

Le deuxième principe de CARNOT affirme que tout système clos évolue vers le plus grand désordre, alors que les découvertes de la biologie montrent que tout système ouvert évolue naturellement vers une structure plus complexe. DURAND (21) précise que *"la théorie de l'évolution, en mettant l'accent sur les interactions systèmes-environnement, permet de dépasser cette contradiction apparente"*.

Les notions de téléologie (22), de directivité semblaient être hors du champ de la science. Les organismes vivants et encore plus les sociétés humaines sont organisés en fonction de

19 H.A. SIMON. "Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel". Dunod, Paris. 1991.

20 D. DURAND. "La systémique". Que sais-je?. Presses Universitaires de France. 2ème édition. 1983. p. 17.

21 D. DURAND. "La systémique". Que sais-je?. Presses Universitaires de France. 2ème édition. 1983. p. 23.

22 Téléologie : "Etude de la finalité. Science des fins de l'homme. Doctrine qui considère le monde comme un système de rapports entre moyens et fins". Définition du petit robert. 1986. p 1934

l'existence d'un but, de la recherche d'un but. Pour BERTALANFFY (23) "*l'équifinalité est la tendance vers un état final caractéristique à partir de différents états initiaux et par diverses voies, fondées sur l'interaction dynamique dans un système ouvert qui atteint un état stable. La rétroaction, maintien homéostatique d'un état caractéristique ou recherche d'un but, fondés sur des chaînes causales circulaires et sur des mécanismes renvoyant l'information sur les écarts à partir de l'état à maintenir ou à partir du but à atteindre*".

BERTALANFFY (24) explique ; *La modélisation mathématique permet de définir des lois de croissance des systèmes. La loi exponentielle est appelée loi de croissance naturelle. Elle est valable pour la croissance du capital avec intérêts composés. En biologie, elle s'applique à la croissance individuelle de certaines bactéries et de certains animaux. En sociologie, elle est valable pour la croissance sans contrainte de populations de plantes ou d'animaux. En sociologie, croissance illimitée de la population quand le taux de natalité dépasse celui de mortalité. Elle décrit également la croissance de la connaissance humaine mesurée au nombre de pages de livres consacrés à des découvertes scientifiques. Le fait de garder le second terme a une conséquence importante. L'exponentielle simple présente un accroissement infini. En gardant le second terme on obtient une courbe qui tend vers une valeur limite. Cette courbe est appelée logistique et présente aussi un large champ d'application*". (Chimie réaction d'autocatalyse, en sociologie, loi décrivant la croissance des populations humaines si les ressources sont limitées).

La loi exponentielle, rappelle BERTALANFFY (25), établit par exemple que "*si on a une certaine population d'êtres quelconques, un pourcentage constant de ses éléments disparaît ou se multiplie par unité de temps. Cette loi s'appliquera aussi bien aux dollars d'un compte en banque, aux bactéries ou aux individus d'une population. La loi logistique dit que l'accroissement, à l'origine exponentielle, est limité par des contraintes restrictives. Une population croît exponentiellement, mais si l'espace et la nourriture sont limités, la quantité de nourriture disponible par individu décroît ; l'accroissement ne peut donc être limité, mais on doit approcher d'un état d'équilibre défini comme le maximum de population compatible avec les ressources existantes*". Nous retrouvons ici l'importance de la notion de stock de délais.

La loi parabolique, poursuit BERTALANFFY (26), exprime "*la compétition à l'intérieur d'un système ; chaque élément joue un rôle en fonction de ses capacités qui sont exprimés par un coefficient spécifique. Cette loi est de la même forme que celle qui s'applique à une compétition d'individus dans un système économique ou des organes qui se concurrencent à l'intérieur d'un organisme pour avoir la nourriture et qui présentent une croissance allométrique*".

A ce niveau, WALLISER (27) distingue deux types de régulation permettant au système d'atteindre le but fixé.

23 L. VON BERTALANFFY. "*Théorie générale des systèmes*". Dunod, Paris. 1991.

24 L. VON BERTALANFFY. "*Théorie générale des systèmes*". Dunod, Paris. 1991. p.60.

25 L. VON BERTALANFFY. "*Théorie générale des systèmes*". Dunod, Paris. 1991. p.79.

26 L. VON BERTALANFFY. "*Théorie générale des systèmes*". Dunod, Paris. 1991. p.80.

27 B. WALLISER. "*Systèmes et modèles, introduction à l'analyse de systèmes*". Editions du Seuil, Paris. 1977. p. 90.

- la régulation passive, qui consiste à atténuer les perturbations de l'environnement à la frontière du système ou au sien du système,
- la régulation active, qui consiste à absorber les perturbations de l'environnement et à les compenser à l'intérieur du système.

WALLISER (28) donne un exemple pour la physique : *"Si l'un veut conserver un système à une température interne constante, on utilise la régulation passive (procédé d'isolation thermique) ou active (mécanismes thermostatique); ainsi, un thermostat joue le rôle d'un régulateur modulant l'action d'un appareil de chauffage par rapport à une pièce à chauffer dont les perturbations sont les facteurs météorologiques et la sortie la température"*.

1.4.5. LE BESOIN DE VARIÉTÉ

DURAND (29) indique que *"la variété d'un système est le nombre de configuration ou d'états que ce système peut revêtir. Il affirme que toute organisation qui ne dispose pas de suffisamment de variété est menacée de surcouplage ou de sclérose de type bureaucratique"*. Au contraire c'est, précise-t-il, *"la disposition à une certaine marge de variété qui permet aux systèmes évolués de trouver des solutions adaptées aux défis qu'ils ont à relever en vue notamment ;*

- *d'établir une bonne coordination de leurs comportements,*
- *de trouver des réponses adaptées aux perturbations en provenance de leur environnement,*
- *d'apprendre de nouveaux comportements"*.

ASHBY (30) s'interroge sur le concept fondamental de machine et répond à la question en affirmant que ce sont, son état interne et celui de ce qui l'entoure, qui définissent de façon unique son prochain état. Sa définition moderne d'un système comme une machine avec un intrant remplace le modèle général de système par un autre plutôt particulier : le modèle cybernétique, c'est à dire un modèle ouvert à l'information mais fermé pour les échanges d'entropie. L'affirmation de ASHBY est que **"aucune machine ne peut être auto-organisée"**. Par comparaison avec le contenu d'information (organisation) d'un système vivant, la matière importée (nutrition, etc.) n'apporte pas d'information mais un signal. Néanmoins son entropie négative sert à maintenir ou même à accroître le contenu d'information du système. BERTALANFFY souligne que *"l'organisme vivant n'est pas une machine de ASHBY parce qu'il évolue vers une différenciation, vers une variabilité de plus en plus accusés"*.

1.5. QUELQUES DÉFINITIONS.

Parvenu au terme d'une première approche des systèmes, nous sommes en mesure de mieux apprécier les définitions des systèmes fournies par différents auteurs.

28 B. WALLISER. *"Systèmes et modèles, introduction à l'analyse de systèmes"*. Editions du Seuil, Paris. 1977. p. 91.

29 D. DURAND. *"La systémique"*. Que sais-je?. Presses Universitaires de France. 2ème édition. 1983. p. 20.

30 W.R. ASHBY. *"Introduction à la cybernétique"*. Dunod, Paris. 1958.

BERTALANFFY (31) précise que la première définition d'un système comme "*un ensemble d'éléments en interaction*" est une définition si générale et si vague que l'on ne peut pas en tirer quelque chose. Il propose d'autres définitions de systèmes. La plus achevée de BERTALANFFY, me semble-t-il est celle qui définit un système "**comme un complexe d'éléments en interaction**" (32).

Pour ROSNAY (33) la définition la plus complète est la suivante : "**un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but**". L'introduction de finalité (le but du système) dans cette définition précise que le système doit maintenir ses équilibres et permettre son développement afin d'atteindre le but fixé.

MORIN définit le système comme une "*unité globale organisée d'interrelations entre éléments, actions ou individus*". Il ne faut pas être surpris par l'apparition de l'individu dans la définition du système, individu qui peut suivant le type de système être un simple élément ou un élément de décision.

WALLISER (34) définit un système comme "*une entité relativement individualisable, qui se détache de son contexte ou de son milieu tout en procédant à des échanges avec son environnement*".

1.6. TYPOLOGIE DES SYSTÈMES.

Une première classification permet de différencier les systèmes naturels des systèmes créés par l'homme. Parmi les premiers, il faut encore distinguer les systèmes vivants et les autres, et parmi les seconds, les machines manufacturées et les systèmes sociaux.

31 L. VON BERTALANFFY. "*Théorie générale des systèmes*". Dunod, Paris. 1991. p.37

32 L. VON BERTALANFFY. "*Théorie générale des systèmes*". Dunod, Paris. 1991. p.53.

33 J. DE ROSNAY "*Le macroscopie, vers une vision globale*". Seuil, Collection Points, Paris. 1975. p.91

34 B. WALLISER. "*Systèmes et modèles, introduction à l'analyse de systèmes*". Editions du Seuil, Paris. 1977. p. 13

LE MOIGNE (35) a repris à son compte la typologie à neuf niveaux établie par l'économiste américain BOULDING (36).

- le premier niveau est celui de l'objet passif : la pierre posée sur le sol. Ces objets n'ont rien d'autre à faire que d'être.
- le deuxième niveau est celui de l'objet actif. Il n'est plus seulement, il fait et nous le connaissons par son activité. La terre est cet objet qui assure le mouvement de la lune par rapport au soleil.
- le troisième niveau est celui de l'objet actif et régulé dont les comportements se manifestent entre certaines limites plus ou moins bien définies. L'arbre gorgé d'eau n'en consomme plus. La machine à vapeur surchauffée n'accélère plus les mouvements du piston, le régulateur à boule ayant refermé la vanne d'admission de la vapeur. A ce niveau apparaissent les relations de bouclage qui assurent la régulation.
- le quatrième niveau est celui de l'émergence de l'information dans la représentation de l'objet. L'objet s'informe. L'information fait suite à la boucle de rétroaction mais ne se confond pas avec elle. LE MOIGNE (37) insiste : "*reconnaître de l'information dans une plante ou un organisme vivant, dans la machine ou dans l'animal et déclarer que ce nouvel objet a la même nature identifiable que celui que créent les êtres humains pour communiquer entre eux, relève de la gageure. Cette gageure s'est avérée féconde, elle nous devient acceptable, familière*". Avec ce quatrième niveau se détermine la catégorie des systèmes-machines qui relèvent du domaine proche de la cybernétique.
- le cinquième niveau est celui de l'émergence de la décision. L'objet décide de son activité. Il est nécessaire de distinguer l'information de représentation de l'information de décision. Seuls appartiennent au cinquième niveau les systèmes, qui outre l'information de représentation, possèdent également une capacité de décision autonome. De tels systèmes échappent au déterminisme du seul hasard, ils ont leurs propres projets, ils appartiennent au domaine du vivant, de la biologie, des systèmes artificiels complexes.
- le sixième niveau est celui de l'émergence de la mémoire. L'objet actif a une mémoire. En fait, comme le reconnaît LE MOIGNE , il est difficile d'établir une hiérarchie entre décision et mémoire. Il paraît que la décision devrait plutôt être classée après la mémoire. On aurait ainsi la chaîne information, mémoire, décision. Avec la mémoire, nous pénétrons dans le monde de la communication.

35 J.L. LE MOIGNE. "*La théorie du système général, théorie de la modélisation*". Presses Universitaires de France, Paris. 1984. p. 126. (2ème édition). p.128 à 147.

36 K.E. BOULDING. "*Evolutionary economics*". Stage Publications Inc, Beverly Hill, Ca.

37 J.L. LE MOIGNE. "*La théorie du système général, théorie de la modélisation*". Presses Universitaires de France, Paris. 1984. p. 126. (2ème édition). p.132.

- le septième niveau est celui de la coordination et du pilotage que rend nécessaire la variété du système. L'objet actif se coordonne. Tout système complexe est à la fois structuré hiérarchiquement et en réseau avec de multiples liaisons verticales et horizontales, d'où la nécessité d'un centre de pilotage et de coordination. Les mammifères ou les systèmes de pilotage automatique appartiennent à ce niveau.

DURAND (38) précise que *"les niveaux cinq, six, et sept comprennent le domaine de la vie, de la cellule aux mammifères très évolués conçues à l'image de l'homme. Les deux derniers niveaux couvrent les domaines humains et sociaux"*.

- le niveau huit est celui de l'émergence de l'imagination et donc de la capacité d'auto-organisation de l'objet. L'objet actif imagine, donc s'auto-organise. On est entré à l'évidence dans le domaine de l'humain, des organisations et des sociétés, mais aussi des objets-artefacts tels que certains systèmes originaux de reconnaissance de formes ou d'auto-apprentissage.
- le niveau neuf est celui de la finalisation. L'objet actif s'autofinalise. Ce niveau est celui de l'émergence de la conscience au sein du pilotage du système. DURAND (39) pense qu'une *"grande partie de l'humanité n'a pas encore atteint ce niveau, soit que les contraintes matérielles soient trop fortes pour donner un sens réel au besoin de liberté, soit que l'homme qui en aurait les moyens n'éprouve pas l'aspiration à organiser lui-même son propre avenir"*.

1.7. MODÉLISATION DES SYSTÈMES

Les systèmes modernes sont des systèmes complexes. **"La complexité n'est pas la complication"** dit MORIN (40) qui explique que *"le vrai problème n'est pas de ramener la complication des développements à des règles de bases simples. La complexité est à la base"*.

L'intelligibilité du complexe se fait par la modélisation. **"Nous ne raisonnons que sur des modèles"** assurait VALÉRY. La modélisation des systèmes complexes ne doit pas le simplifier, car cela reviendrait à le mutiler. On aurait alors détruit son intelligibilité. **Les outils de modélisation devront nous aider à mieux comprendre le fonctionnement des systèmes.** LE MOIGNE (41) affirme *"les projets du système de modélisation ne sont pas donnés : ils se construisent. Autrement dit la tâche la plus importante du modélisateur n'est pas de résoudre un problème présumé déjà bien posé. Elle est de formuler le ou les problèmes qu'il s'avérera pertinent de résoudre : il faut apprendre à résoudre le problème qui consiste à poser le problème"*.

38 D. DURAND. *"La systémique"*. Que sais-je?. Presses Universitaires de France. 2ème édition. 1983. p. 31

39 D. DURAND. *"La systémique"*. Que sais-je?. Presses Universitaires de France. 2ème édition. 1983. p. 31

40 E. MORIN. *"La méthode Tome 1"*. Le Seuil, Paris. 1977. p. 377.

41 J.L. LE MOIGNE. *"La modélisation des systèmes complexes"*. Dunod, collection AFCET Systèmes, Paris. 1991. p 66.

LE MOIGNE poursuit (42): *"trop souvent le système éducatif est en général centré sur la résolution de problème mono-critère, et sur l'hypothèse que le modèle permettant de la résoudre est déjà formulé ! Qu'une information non prise en compte par ce problème précédent soit ajoutée à l'énoncé, suggérant l'hypothèse d'une finalité jusque là implicite, et l'élève sera désarçonné : il ne saura plus résoudre le problème des robinets qui achève le cours d'arithmétique élémentaire si l'on complète l'énoncé habituel du problème bien posé par des indications relatives à la couleur du lavabo ou de la température de l'eau. Comment être certain que ces données ne sont pas pertinentes si l'on ne connaît pas les projets que l'on se propose à l'action. La pertinence se définit par rapport à quelques finalités ; si les finalités ne sont pas identifiées, comment évaluer raisonnablement la pertinence?"*.

1.8. L'APPROCHE SYSTÉMIQUE DE SITUATIONS PÉDAGOGIQUES

BERGER et BRUNSWIC (43) considèrent *"une situation d'apprentissage comme un système renvoyant à un fonctionnement social"*. Les composants de ce système social sont ; le produit (sortie), l'entrée, les ressources, les contraintes, la stratégie la rétroaction et l'évaluation. L'approche systémique en éducation, précisent BERGER et BRUNSWIC, peut jouer plusieurs rôles : *"elle peut être tantôt un instrument de fabrication de nouveaux modèles, de préparation d'une décision, tantôt un instrument d'analyse et de diagnostic puis d'intervention dans un système existant"*.

L'approche systémique en éducation est une méthode d'enseignement qui permet, à partir de l'analyse de situations éducatives concrètes, d'améliorer l'efficacité du processus d'enseignement et d'apprentissage. C'est alors un instrument de fabrication d'un nouveau modèle d'enseignement. BERGER et BRUNSWIC confirment que *"l'approche systémique en éducation n'est ni une théorie des systèmes éducatifs, ni une méthode particulière d'enseignement ou éducation."* C'est une forme de pensée.

Il n'est pas question d'appliquer l'approche systémique d'une manière mécanique. BERGER et BRUNSWIC affirment (44) *"ce qui va déclencher la réflexion de l'éducateur et son désir de changement, c'est soit un échec, soit une contradiction entre ses objectifs et la réalité, ou entre ses propres objectifs et ceux qui lui sont proposés par l'institution."*

42 J.L. LE MOIGNE. *"La modélisation des systèmes complexes"*. Dunod, collection AFCET Systèmes, Paris. 1991. p 67

43 G. BERGER et E. BRUNSWIC. *"L'éducateur et l'approche systémique Manuel pour améliorer la pratique de l'éducation"*. UNESCO. Paris. 1981. p 10.

44 G. BERGER et E. BRUNSWIC. *"L'éducateur et l'approche systémique Manuel pour améliorer la pratique de l'éducation"*. UNESCO. Paris. 1981. p 27.

L'évolution technologique en multipliant les composants électroniques et leurs agencements rendait très rapidement les programmes obsolètes. Le législateur a compris. Le programme est devenu référentiel. Les objectifs de formation proposés par l'institution changent. L'enseignant traditionnel est en contradiction entre les nouvelles finalités de formation imposées par l'institution et ses méthodes habituelles. Les pédagogues ont alors proposé des éléments d'une méthode d'analyse des objets techniques électroniques en suivant les principes de l'approche systémique. L'orthodoxie systémique de l'enseignement de l'électronique est-elle admise par l'éducateur de terrain ? La formation initiale peut-elle aider le professeur à déclencher la réflexion dont parlent BERGER et BRUNSWIC ?

2. L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTRONIQUE DANS LE SECONDAIRE ET L'APPROCHE SYSTÉMIQUE.

2.1. LA FORMATION DES PROFESSEURS DE L'ENSEIGNEMENT TECHNOLOGIQUE

2.1.1. LA FORMATION DES PROFESSEURS DES LYCÉES PROFESSIONNELS.

Les E.N.N.A. (45) ont été créés (46) en 1946 "sous l'autorité du Ministre de l'Education Nationale pour la formation du personnel d'encadrement des centres de formation professionnelle (C.A.P.). Les cinq écoles normales d'enseignement professionnel sont établies à : Paris Nord, Paris Sud, Nantes, Lyon et Toulouse". Plus tard s'ajoutera Lille. Chacune de ces écoles ayant une compétence nationale a pris le titre de l'école normale nationale d'apprentissage suivi du nom de la ville où elle est établie. Les E.N.N.A. ont assuré la formation technologique et pédagogique des enseignants des centres d'apprentissage, devenu plus tard les lycées d'enseignement professionnel (L.E.P.), puis plus récemment les lycées professionnels (L.P.).

La formation des maîtres du technique s'organisait dans les E.N.N.A. autour d'une finalisation des savoirs et des savoirs-faire qui donne le sens à l'apprentissage des processus techniques ainsi qu'à l'acquisition des compétences professionnelles. Pour OBIN (47), cette formation s'est appuyée "sur les valeurs dominantes de -l'aristocratie ouvrière- et de l'éducation populaire : le goût de l'action, du travail en équipe, l'attrait pour des réalisations concrètes, pour l'efficacité, l'amour du travail bien fait, l'engagement pour la promotion sociale et culturelle des classes populaires, la solidarité. Le modèle pédagogique qui prévaut est celui de l'apprentissage, c'est à dire une pédagogie alternant les phases d'acquisition de savoirs-faire professionnels et des phases de transmission de savoirs, pratiques et théoriques, directement liés aux savoirs-faire.

45 E.N.N.A. (Ecole Normale Nationale d'Apprentissage).

46 Extrait de l'ordonnance n°45-2630 du 2 novembre 1945 et du décret n°46-816 du 26 avril 1946.

47 J.P. OBIN. Inspecteur général de l'éducation nationale. "Identités et changements dans la profession et la formation des enseignants" Séminaire, IUFM de Toulouse. Avril 1991.

Le futur professeur, très souvent titulaire d'un B.T.S. ou D.U.T. a passé avec succès les épreuves des concours P.L.P. 1 (48) ou du P.L.P. 2. (49). Il était nommé pour un an à l'E.N.N.A. La formation en E.N.N.A. consistait en l'apprentissage de méthodes pédagogiques sans faire référence aux concepts généraux de la didactique. La formation des futurs professeurs de L.P. était principalement l'exercice pédagogique en situation réelle qui supposait la préparation en commun d'une leçon, son expérimentation dans une classe, son analyse. Plus tard, pendant douze à quinze semaines sous la responsabilité du directeur de l'E.N.N.A., le futur professeur prenait en charge un enseignement dans une section de B.E.P., dans la classe de son conseiller pédagogique.

La formation des professeurs enseignant l'électronique dans les sections de B.E.P. (50) et des baccalauréats professionnels (51) a été assurée jusqu'à 1985 uniquement à l'E.N.N.A. de Paris Nord (52). A partir de 1985, une section d'électronique a été ouverte à l'E.N.N.A. de Toulouse. Les E.N.N.A. ont été dissoutes à la création des I.U.F.M.(53) en septembre 1990 (54).

2.1.2. LA FORMATION DES PROFESSEURS DES LYCÉES TECHNIQUES.

48 P.L.P. 1 : Professeur de lycée professionnel premier grade. Les étudiants, titulaire du B.T.S. Electronique peuvent présenter le concours P.L.P. 1 Electronique. Ils recevaient une formation pédagogique de un an dans les E.N.N.A. Le concours externe en électronique n'a pas été ouvert depuis la création du P.L.P 2.

49 : P.L.P. 2 : Professeur de lycée professionnel deuxième grade. Les candidats titulaires d'une licence peuvent présenter le P.L.P. 2 électronique et automatique. Ils recevaient une formation pédagogique de un an dans les E.N.N.A. Cette formation est actuellement mise en place dans les I.U.F.M.

50 B.E.P. (Brevet d'Etudes Professionnelles)

51 Deux baccalauréats professionnels sont à orientation électronique ; le baccalauréat "Maintenance AudioVisuel ELEctronique" (M.A.V.E.L.E.C.) et le baccalauréat "Maintenance de Réseaux Bureautiques et Télématiques" (M.R.B.T.).

52 E.N.N.A. (Ecole Normale Nationale d'Apprentissage) Place du 8 mai 1945. 93206 Saint Denis.

53 I.U.F.M. (Institut Universitaire de Formation des Maîtres)

54 Décret n°90-267 du 28 septembre 1990 Article 32. Les biens appartenant à l'état affectés aux écoles normales nationales d'apprentissage et aux centres de formations des enseignants, dissous à la date de création des instituts universitaires de formation des maîtres, sont affectés gratuitement à ces derniers.

Pour OBIN (55), "*ces professeurs licenciés ou agrégés sont très majoritairement issus de l'université. Enseignant d'une seule discipline, leur compétence professionnelle au métier d'enseignant leur apparaît d'autant plus lié aux savoirs acquis pendant les années universitaires qu'aucune place n'y a été faite au métier d'enseignant*". Outre la très forte marque laissée par les C.F.P.E.T.(56) avant 1985, puis par l'enseignement universitaire ensuite, la culture de second degré se réfère à des valeurs liées à la connaissance, à la transmission du patrimoine technologique et scientifique. Les modèles académiques portés par cette culture sont fortement marqués par l'université : exposé en cours magistral, application en travaux dirigés, expérimentation en travaux pratiques.

Après le concours du C.A.P.E.T. théorique (57, la formation pédagogique des professeurs du second degré était assurée dans les C.P.R. (58). Celle-ci était principalement axée sur le principe du compagnonnage. Le futur professeur devait observer les activités de son conseiller pédagogique dans une classe, puis assurer seul un enseignement de quatre à six heures par semaine.

2.1.3. L'ENJEU DE L'INSTITUT UNIVERSITAIRE DE FORMATION DES MAÎTRES.

55 J.P. OBIN. Inspecteur de l'éducation nationale. "*Identités et changements dans la profession et la formation des enseignants*" Séminaire, IUFM de Toulouse. Avril 1991.

56 C.F.P.E.T. (Centre de formation des professeurs de l'enseignement technique) Les C.F.P.E.T. ont remplacés les centres de formation des professeurs techniques adjoint. La formation est devenu plus théorique et très proche d'une formation universitaire. Les réflexions pédagogiques n'était pas l'exercice pédagogique en situation réelle. Les C.F.P.E.T. ont été dissous vers les années 1986. La formation des enseignants du technique long second degré a été confié aux universités.

57 C.A.P.E.T. (Certificat d'Aptitude aux Professorat de l'Enseignement Technique). Le domaine du génie électrique recouvre trois C.A.P.E.T. : Option A: Electronique et Automatique, Option B: Electrotechnique et Energie, Option C ; Informatique et Télématique. Seule l'option A intéresse l'auteur pour ce travail.

58 C.P.R. Centre Pédagogique Régionaux, Il y avait un C.P.R par académie. Les C.P.R. ont été dissous lors de la création des instituts universitaire de formations des maîtres par le décret du 28 septembre 1990.

La circulaire (59) du 2 juillet 1991 définit les principes généraux de la formation en I.U.F.M. *"La formation en I.U.F.M. est basée sur la confrontation permanente entre la théorie et la pratique. Les compétences à développer chez les maîtres sont à construire sur la base d'une articulation théorique-pratique où le terrain est l'objet d'analyse poussant à rechercher les éléments théoriques d'une plus grande efficacité et en même temps moyen de validation et de synthèse des savoirs acquis"*. GUYARD (60) précise : *"Aux anciens ouvriers qualifiés porteurs d'une culture ouvrière se substituent progressivement ces dernières années des jeunes diplômés de l'enseignement supérieur issus de D.U.T., B.T.S. et licences diverses. L'expérience d'une activité en entreprise est capitale, car elle constitue souvent aujourd'hui, pour eux, un premier contact approfondi, avec le milieu professionnel et un milieu social en rupture avec leur histoire personnelle."*

Les stages en entreprise doivent donner lieu à une réelle formation. A cette fin, ils doivent s'intégrer dans un réel projet pédagogique. Ils feront l'objet d'un travail de préparation, d'analyse, d'exploitation selon une démarche comparable en grande partie à celle que ces futurs enseignants auront eux-mêmes à concevoir plus tard pour leurs élèves participant à des formations alternées".

Le département électronique de l'I.U.F.M. de Toulouse a mis en place une formation des maîtres qui essaie de réunir les deux cultures technologiques trop souvent dissociées ; formation des professeurs des lycées professionnels, formation des professeurs des lycées techniques. Après avoir eu un apport théorique sur les fondements de la systémie et ses implications dans le référentiel de formation des élèves, le professeur construit, avec l'aide des formateurs, un projet pédagogique. A partir de la deuxième moitié de l'année universitaire, il anime la totalité de l'enseignement de l'électronique (8 à 11 heures par semaine) de la section dont il a la charge (61).

59 Circulaire n°91-202 du 2 juillet 1991. *"Contenu et validation des formations organisées par les instituts universitaires de formation des maîtres"* Bulletin officiel de l'éducation nationale. n°27 du 11 juillet 1991.

60 J. GUYARD. Secrétaire d'état à l'enseignement technique. *"Formation des PLP dans les IUFM"*. Note Réf. SEET/CAB.9/VD/n°0127. Paris. 30 septembre 1991.

61 Ces dispositions sont propres au département électronique de l'I.U.F.M. de Toulouse.

2.1.4. COMPARAISON DES DIFFÉRENTES STRUCTURES DE FORMATION.

Le tableau 1 résume les différents aspects des diverses formations initiales au métier d'enseignant.

Type de formation	Niveau requis de la formation disciplinaire	Type de concours	Durée de la formation pédagogique	Contenu de la formation	Cycle dans lequel le futur professeur enseignera
E.N.N.A.	B.T.S. ou D.U.T.	P.L.P.1 ou P.L.P.2	1 an	Apports méthodologiques 12 à 15 semaines de stage en responsabilité	B.E.P. ou Bac pro
C.P.R.	Licence	C.A.P.E.T. ou Agrégation	1 an	Informations pédagogiques délivrées sous forme d'exposés ponctuels.	Second cycle des lycées techniques (1 ^{er} F2 et TF2) (1 ^{er} E et TE) 2 ^o TSA Enseignement post baccalauréat des lycées techniques (B.T.S.)
I.U.F.M.	Licence	P.L.P.2 C.A.P.E.T. ou Agrégation	1 an	Réflexions pédagogiques en liaison avec les concepts didactiques Construction d'un projet pédagogique et réalisation de celui-ci en présence des élèves	Second cycle des lycées techniques (1 ^{er} F2 et TF2) (1 ^{er} E et TE) 2 ^o TSA Enseignement post baccalauréat des lycées techniques (B.T.S.) et B.E.P. ou Bac pro

Tableau 1 : Comparaison des différentes structures de formation initiale des enseignants.

2.2. L'APPROCHE SYSTÉMIQUE ET LES RÉFÉRENTIELS DE FORMATION

Dès les années 1970, les professeurs d'électronique de L'E.N.N.A. Paris Nord ont intégré dans leurs réflexions pédagogiques l'approche fonctionnelle. Celle-ci était limitée aux objets techniques. Très rapidement, en liaison avec le monde de l'entreprise, l'objet technique fut replacé au sein du système auquel il appartient. L'analyse des propriétés des interactions entre les objets techniques (éléments du système) devint une nécessité pour comprendre le rôle de ces objets techniques et des solutions technologiques choisies par le concepteur. L'analyse systémique était introduite dans l'enseignement technologique. L'approche systémique fut incorporée dans la réflexion des professeurs de l'enseignement professionnel avant même que celle-ci apparaisse officiellement dans les programmes d'électronique. Dès mai 1987, SICILIANO (62) présentait une méthode d'enseignement de l'électronique dans les lycées professionnels. Elle *"doit permettre de mieux comprendre l'activité pédagogique exercée par les professeurs qui participent à la formation au B.E.P. Electronique ou à celle des baccalauréats professionnels M.A.V.E.L.E.V. et M.R.B.T. Cela rend encore plus crédible pour les élèves titulaires du B.E.P. Electronique l'accès aux*

62 D. SICILIANO. Inspecteur général de l'éducation nationale "Technologie". Centre National de documentation pédagogique, Paris. Mai 1987. p 4.

classes passerelles préparatoires au baccalauréat technologique F2, et conforte l'articulation structurée entre le B.E.P. et les baccalauréats professionnels".

2.2.1. RÉFÉRENTIEL DU B.E.P. ELECTRONIQUE

L'arrêté du 27 août 1987 (63) définit le référentiel du B.E.P. Electronique. Il est composé de trois parties ;

- la première partie décrit les activités de l'ouvrier professionnel qualifié du B.E.P. électronique dans l'entreprise,
- la seconde partie donne la liste des compétences dont doit faire preuve le candidat pour obtenir le B.E.P. électronique.
- la troisième partie précise la liste des connaissances électroniques associées aux compétences. Les fonctions électroniques sont étudiées, en tant que besoins. Ces fonctions sont classées par ordre alphabétique afin d'indiquer que la liste n'est ni hiérarchique ni chronologique.

Je vais reprendre certaines compétences terminales de la deuxième partie qui se réfèrent directement à l'approche des systèmes.

L'élève doit être capable ;

- 1) de déterminer la nature des ;
 - renseignements,
 - documents-ressources,susceptibles de fournir des informations de caractères divers en relation avec les milieux associés à un système technique c'est à dire avec son environnement ; ces informations sont nécessaires à la compréhension de la fonction d'usage par une meilleure appréhension de l'environnement,
- 2) d'énoncer l'inventaire des documents nécessaires à l'appropriation d'un système technique et d'un ou plusieurs des objets techniques qui le constituent,
- 3) de trier dans les documents les éléments pertinents nécessaires à la description du fonctionnement d'un système technique et d'un ou plusieurs des objets techniques qui le constituent,
- 4) d'énoncer le processus de leur fonctionnement en suivant une démarche algorithmique,
- 5) de traduire l'énoncé précédent en un algorithme,
- 6) d'établir la correspondance entre le schéma fonctionnel associé à la fonction d'usage et l'algorithme,
- 7) d'analyser les schémas fonctionnels fournis associés aux fonctions principales et secondaires en exprimant les relations entre les fonctions principales afin de montrer comment leur organisation contribue à la réalisation de la fonction d'usage....

63 L'arrêté du 27 Août 1987 a été publié au bulletin officiel de l'éducation nationale n°40 le 12 novembre 1987. Cet arrêté est repris dans la revue intitulé "B.E.P. Electronique". Centre national de documentation pédagogique, Paris, (collection / Horaires / programmes / instructions). 1989. p 16.

22) de produire un algorithme permettant de réaliser à l'intérieur d'un système technique une fonction de traitement numérique programmé de l'information.

2.2.2. RÉFÉRENTIEL DU BACCALAURÉAT GÉNIE ÉLECTRONIQUE

Quelques années plus tard, la liste des compétences définies pour le baccalauréat génie électronique (64) reprend la même philosophie que celle abordée dans le cadre du B.E.P. électronique.

Pour obtenir le baccalauréat génie électronique, le candidat doit faire la preuve qu'il est capable de:

- A) Définir de système technique ou le système mixte dont l'objet technique support de l'étude est l'un des éléments.
- B) Analyser l'organisation fonctionnelle d'un objet technique afin ;
 - * d'associer à chacune des fonctions, le verbe d'action lui correspondant,
 - * de vérifier que toutes les grandeurs d'entrées et de sorties présentes sur le schéma fonctionnel, sont disponibles dans l'environnement de l'objet,
 - * d'identifier, pour chaque fonction la nature (énergie, matière ou information) des données présentes aux entrées,
 - * de distinguer les éléments pertinents, caractéristiques des grandeurs d'entrée et de sortie de chaque fonction,
 - * d'expliquer comment l'agencement des fonctions contribue à la réalisation de sa fonction d'usage.
- C) Analyser le processus de fonctionnement du système et/ou de l'objet technique afin ;
 - * de définir les différentes phases de fonctionnement,
 - * de décrire l'enchaînement de ces différentes phases en suivant une démarche algorithmique,
 - * de représenter le processus de fonctionnement de tout ou une partie du système, en utilisant l'outil de description le plus pertinent.
- D) Identifier à une fonction la ou les structures participant à sa réalisation.
- E) Analyser l'organisation structurelle d'une fonction afin ;
 - * d'établir les relations entre les grandeurs d'entrées et de sortie qui caractérisent cette fonction,
 - * de justifier le dimensionnement d'un composant,
 - * de choisir un composant,
 - * d'évaluer que la fonction requise est assurée.
- F) Rechercher pour ce qui concerne les fonctions conçues de manière mixte (matérielle et logicielle), l'adéquation entre les solutions technologiques structurelles et les segments de programme associés afin ;
 - d'identifier les variables se rapportant à cette fonction,

64 Baccalauréat Technologique. Série : Sciences et technologies industrielles. Spécialité : Génie Electronique. Bulletin officiel hors série du 24 septembre 1992. p 250. Ce baccalauréat remplace le baccalauréat F2 cité précédemment.

- de distinguer, en relation avec les variables, la (ou les) parties se rapportant à la fonction mixte étudiée,
- d'établir les liens de cause à effet entre un élément de la partie concernée du logiciel et les relations entre les grandeurs d'entrées et de sorties de la structure matérielle qui caractérise cette fonction mixte.

Les liens, pour les élèves titulaires du B.E.P. électronique et les classes préparatoires au baccalauréat génie électronique, qu'annonçaient SICILIANO (voir page 29) dans l'éditorial de la revue Technologie viennent d'être réalisés. Le nouveau référentiel des sections du B.T.S. (65) Electronique et Automatique restera dans le même esprit. L'approche systémique sera présente dans les programmes officiels du B.E.P. électronique aux B.T.S. électronique.

2.3. L'APPROCHE SYSTÉMIQUE EN ÉLECTRONIQUE

"L'analyse fonctionnelle de constatation est une opération intellectuelle qui consiste à décomposer l'objet technique en éléments dans le but essentiel d'en saisir le fonctionnement en étudiant les interactions dynamiques entre ces différents éléments composant l'objet technique étudié. Le schéma fonctionnel fait apparaître les fonctions remplies par les éléments sans présager des solutions technologiques ni de la situation géographique de ses éléments. Il montre comment son organisation permet de remplir la fonction d'usage de l'objet technique telle qu'elle a été définie précédemment.

En aucun cas l'analyse fonctionnelle doit être rébarbative. Elle est nécessaire et indispensable à la compréhension du fonctionnement de l'objet technique au sein du système auquel il appartient. Elle doit être conduite avec rigueur et cohérence". (66)

2.3.1. MATIÈRE D'OEUVRE

La caractérisation de la nature des entrées et sorties du système est indispensable à l'obtention de la compétence B (voir page 31) décrite dans le référentiel du baccalauréat génie électronique. La typologie de LE MOIGNE (matière, énergie, information) (voir page 15) est scrupuleusement reprise dans les référentiels. La nature de l'entrée ou de la sortie d'un système est très souvent appelée "matière d'oeuvre", dans le sens matière sur laquelle oeuvre le système dont on aura auparavant délimité, en plaçant les frontières. Un système ne modifie pas le type de matière d'oeuvre, mais il la transforme, il la déplace, il la modifie.

2.3.2. DIAGRAMME SAGITTAL.

Les systèmes étudiés avec les élèves seront principalement des systèmes techniques artificiels. Ils appartiendront au classement du niveau trois ou quatre décrit par LE MOIGNE et

65 Le référentiel des sections de B.T.S. Electronique et Automatique et du B.T.S. Informatique et Télématique est actuellement en cours de rédaction. L'approche système et la méthodologie d'apprentissage préconisée dans les référentiels du B.E.P. électronique et du baccalauréat seront très présente. Juillet 1993.

66 C. VALADE et A. FOUCHER. "Dosimètre". Centre National d'enseignement à distance, Référence D 5440 T. Vanves. 1992. p 10.

explicité précédemment page 21. Les éléments composant les systèmes artificiels étudiés dans la cadre de l'électronique seront des objets techniques dont la technologie électronique est dominante. Tous les éléments composant d'un système tels que les a définis DURAND (voir page 15) sont représentés dans un diagramme sagittal. Il "consiste à faire apparaître les transferts de matière d'oeuvre entre les éléments d'un système pris deux à deux. L'ensemble de ces relations est représenté graphiquement par le diagramme sagittal. Les liaisons fléchées associées à un élément du système représentent les entrées et sorties de la matière d'oeuvre" (67). Le diagramme sagittal répond à la question : De quoi c'est fait?. La construction du diagramme sagittal est une modélisation analytique (voir page 34). Cette phase permet de situer le système ou l'objet dans son environnement en plaçant notamment la frontière de l'étude (voir page 15).

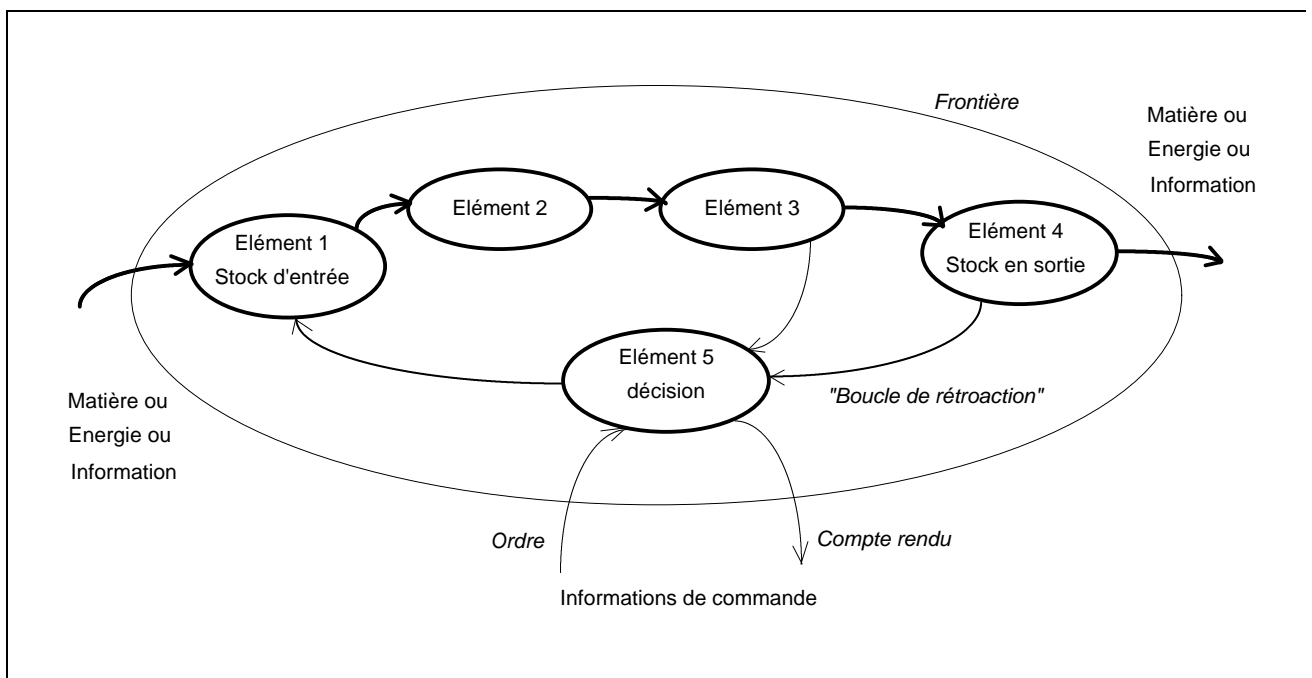


Figure 1 : Diagramme sagittal montrant le transfert de matière d'oeuvre traitée (matière, énergie ou information) en fonction d'information de commande provenant de l'environnement extérieur.

2.3.3. FONCTION D'USAGE

Le terme "fonction d'usage" apparaît trois fois dans les extraits du référentiel B.E.P. Electronique (voir page 30) et une fois dans le référentiel du baccalauréat génie électronique (voir page 31). SICILIANO et CADIEU (68) donnent la définition suivante de la fonction d'usage : "relation qui caractérise l'accomplissement de l'action caractéristique d'un objet technique par référence implicite ou explicite au traitement subi par la matière d'oeuvre sur laquelle il agit (approche des milieux associés). LE MOIGNE (69) affirme que la modélisation systémique part de

67 C. VALADE et A. FOUCHER. "Dosimètre". Centre National d'enseignement à distance, Référence D 5440 T. Vanves. 1992. p 8.

68 A. CADIEU et D. SICILIANO "Méthode d'enseignement de l'électronique". Centre nationale de documentation pédagogique, Collection Technologie n°6, Paris. Mai 1987. p 36

69 J.L. LE MOIGNE. "La modélisation des systèmes complexes". Dunod, collection AFCET Systèmes, Paris. 1991. p 46.

la question "qu'est-ce que ça fait ?" Quelles sont les fonctions et les transformations, ou les opérations assurées ou à assurer ; Alors que la modélisation analytique part de la question "de quoi c'est fait ?" Quels sont les éléments constitutifs, les objets, les organes, dont les combinaisons constituent ou peuvent constituer le phénomène (que l'on appelle plus souvent alors un objet) à modéliser".

La rédaction de la fonction d'usage est la première étape de la modélisation systémique du système. Elle doit répondre aux questions ; Que fait le système ou l'objet ? A partir de quoi le fait-il ? Comment le fait-il ? La rédaction minutieuse de la fonction d'usage aide à comprendre le fonctionnement du système étudié.

2.3.4. SCHÉMAS FONCTIONNELS.

Cette étape abstraite de rédaction de la fonction d'usage permet l'élaboration du schéma fonctionnel associé. MARTINAND (70) précise : "*la schématisation joue un rôle primordial dans le passage du concret à l'abstrait et vice-versa. Elle peut devenir un véritable langage de communication*". Le schéma fonctionnel associé à la fonction d'usage est la transcription graphique de celle-ci. CADIEU (71) propose une démarche rationnelle permettant de construire le schéma fonctionnel associé à la fonction d'usage.

"Pour chaque sortie de l'objet technique, il faut ;

- identifier le verbe d'action contenu dans l'expression de la fonction d'usage. Celui-ci produit le résultat qui est fourni à la sortie considérée.*
- associer ce verbe d'action à la fonction correspondante,*
- identifier la nature des données présentes en entrées nécessaires à la réalisation de cette fonction,*
- rechercher pour chacune des entrées, si la donnée correspondante existe à l'extérieur de l'objet technique,*
 - si elle existe, elle est présente à une entrée de l'objet technique définie lors de l'extraction de l'objet technique du diagramme sagittal,*
 - si elle n'existe pas, elle se trouve alors élaborée par une autre fonction interne correspondant à un autre verbe d'action de l'expression de la fonction d'usage ; pour cet autre verbe d'action, on effectuera alors la même démarche que précédemment.*

Le schéma fonctionnel sera terminé lorsque toutes les données de la dernière fonction apparue seront disponibles dans l'environnement de l'objet technique".

Le lecteur remarquera que le législateur qui a défini la compétence B (voir page 31) du baccalauréat génie électronique s'est grandement inspiré de la méthode algorithmique proposée par CADIEU.

70 J.L. MARTINAND. "Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifique". Z'édicions, collection investigations scientifiques, Nice. 1988. p 34.

71 A. CADIEU "Méthode d'enseignement de l'électronique". Centre national de documentation pédagogique, Collection Technologie n°6, Paris. Mai 1987. p 32

MARTINAND (72) affirme ; "le double codage (figuratif et verbal) intervient ainsi surtout lorsque l'information est concrète, tandis que la représentation verbale est prépondérante dans les situations abstraites. Le fait que des éléments concrets, imagés soient plus facilement mémorisés que des éléments abstraits, verbaux peut donc être dû à la mise en jeu de deux codages plus efficace que l'utilisation d'un seul. Il est ainsi possible, pour faciliter une représentation imagée des informations scientifiques transmises, non seulement de présenter des schémas, mais aussi d'introduire dans le texte lui même certains énoncés concrets qui vont conduire le lecteur à coder sous une forme imagée les définitions des concepts scientifiques".

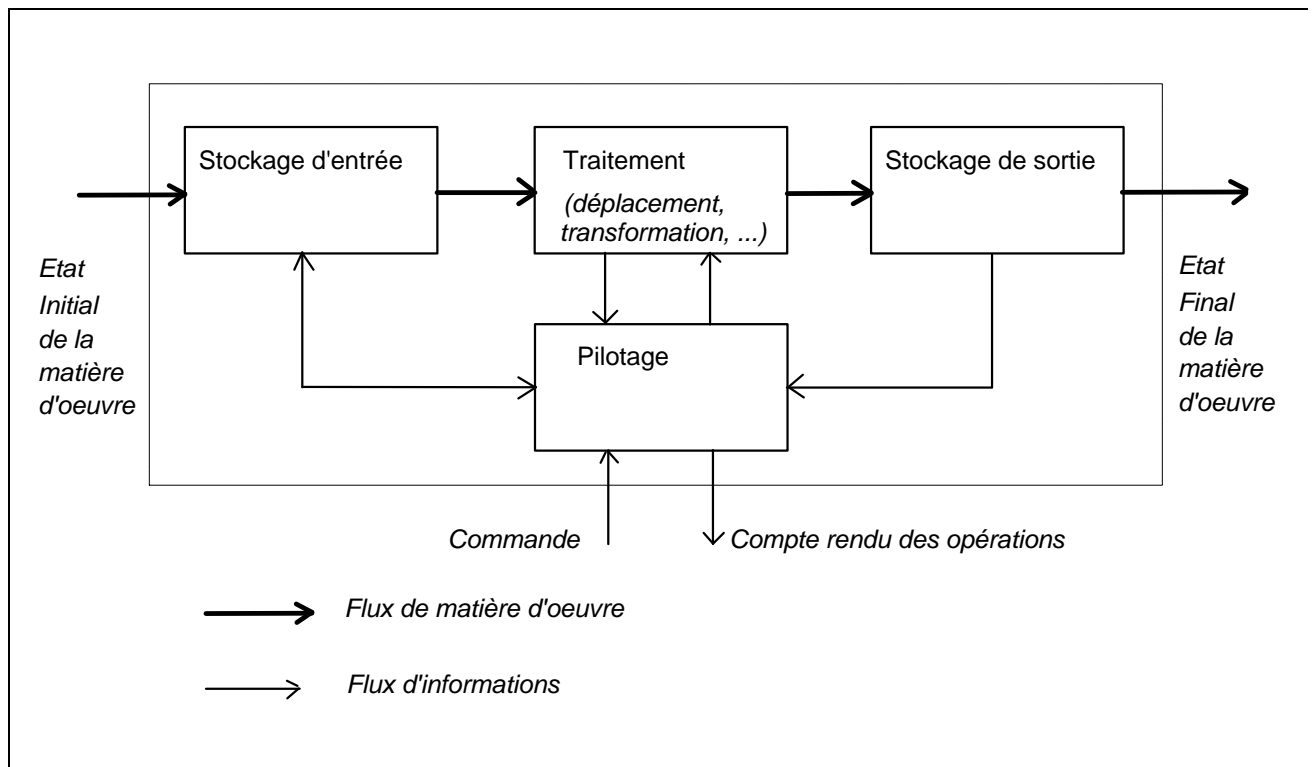


Figure 2 : Schéma fonctionnel. Les fonctions de ce schéma ne présagent pas de la technologie mise en oeuvre. Après avoir déterminé le rôle de chaque fonction, la modélisation mathématique fournira les relations entre les grandeurs d'entrées et de sorties de chaque fonction.

Le rôle du schéma fonctionnel associé à la fonction d'usage est de donner une transcription graphique de celle-ci et par la même d'appréhender, de comprendre le fonctionnement de l'objet technique étudié. Le schéma fonctionnel est composé de fonctions. Ces fonctions sont réalisées par tout ou une partie des éléments composant le système. Elles sont indépendantes de la technologie mise en oeuvre pour les élaborer. En conséquence, la représentation fonctionnelle s'applique aux objets programmés. On retrouve dans la compétence F (voir page 31) du référentiel du baccalauréat génie électrique les termes *identifier les variables, distinguer les liens de cause à effet, etc.*, Termes et expressions semblables à ceux employés pour les compétences dans lesquelles la technologie n'est pas spécifiée. Le législateur a voulu souligner que même pour un objet programmé, la technique d'investigation est la même.

2.3.5. DÉMARCHE ALGORITHMIQUE.

Les systèmes artificiels appartenant au niveau trois de la classification reprise par LE MOIGNE (voir page 21) sont relativement simples. Par contre les systèmes artificiels complexes de niveau 4 ou 5 ont plusieurs phases distinctes de fonctionnement. A chacune des phases de fonctionnement correspond un schéma fonctionnel qui permet de comprendre le fonctionnement à une date donnée de la séquence active. Le système complexe n'a pas alors un seul schéma fonctionnel, mais des schémas fonctionnels que l'on peut regrouper en un schéma fonctionnel temporel. L'activation des phases peut être représentée par un algorithme qui énonce comme le précise les référentiels "*le processus de fonctionnement du système ou de l'objet*" (voir page 31 et 30).

2.3.6. ENVIRONNEMENT ET MILIEUX ASSOCIÉS.

Pour A. CADIEU et D. SICILIANO (73) les milieux associés sont définis comme "*portions de l'environnement d'un objet technique en relation directe ou non avec celui-ci. On distingue habituellement quatre milieux : technique, économique, physique et humain*".

Le terme environnement et l'expression milieux associés apparaissent respectivement 4 fois dans l'extrait du référentiel du B.E.P. et 1 fois dans celui du référentiel du baccalauréat génie électronique.

"L'analyse fonctionnelle détaillée de l'objet technique nécessite une étude approfondie des milieux associés et des exigences du cahier des charges. Cette analyse fonctionnelle de constatation doit faire apparaître les contraintes à satisfaire pour la réalisation de la fonction d'usage de cet objet technique" (74). L'analyse des milieux associés à l'objet technique doit permettre de justifier l'agencement des fonctions du schéma fonctionnel et des choix technologiques des structures réalisant les fonctions. Les contraintes inhérentes à chaque milieu et à l'environnement sont définies dans le cahier des charges du système ou de l'objet. Elles influencent l'agencement des fonctions du schéma fonctionnel associé à la fonction d'usage.

73 A. CADIEU et D. SICILIANO "*Méthode d'enseignement de l'électronique*". Centre national de documentation pédagogique, Collection Technologie n°6, Paris. Mai 1987. p 36

74 C. VALADE et A. FOUCHER. "*Dosimètre*". Centre National d'enseignement à distance, Référence D 5440 T. Vanves. 1992. p 20.

2.3.7. ELARGISSEMENT DU CHAMP TECHNOLOGIQUE ET FONCTION GLOBALE

CADIEU et SICILIANO (75) définissent la fonction globale : "C'est la relation qui transforme, au niveau de la matière d'oeuvre, une situation initiale en situation finale sans référence à un objet technique particulier".

"L'objet technique particulier étudié n'est qu'une solution possible au problème posé à une date donnée. Afin d'avoir une vue qui permette de s'affranchir des solutions retenues, il convient d'élargir en faisant apparaître un champ technique et technologique plus vaste, correspondant à une fonction dite globale. Cet élargissement consiste à passer de l'énoncé de l'action caractéristique de cet objet technique étudié à l'énoncé de l'action spécifique de cet objet et des objets de la même famille mais répondant à la même fonction globale. La fonction globale ne doit pas faire référence à un objet technique particulier ou à une technologie particulière.

Cette étape d'élargissement n'est pas obligatoire pour la compréhension du fonctionnement de cet objet étudié, mais nous semble indispensable à la formation de l'élève. Elle permet, à partir d'une situation concrète, l'analyse de fonctionnement de l'objet étudié, d'accroître la réflexion en utilisant le concept d'abstraction indispensable pour le technicien ou l'ingénieur de demain" (76). Elle permettra à l'élève de revenir sur l'organisation et le fonctionnement de l'objet étudié à un niveau plus général ce qui lui facilitera plus tard la phase d'appropriation du fonctionnement.

2.3.8. GÉNÉRALISATION DE L'APPROCHE SYSTÉMIQUE EN ÉLECTRONIQUE

Cette conception systémique de l'enseignement est contraire à une démarche linéaire. ROSNAY affirme (77) que *"l'approche traditionnelle consiste à détailler A de manière à faire comprendre B, étudier à son tour pour faire comprendre C. On ne sait pas où le professeur veut en venir. On espère que ce sera utile plus tard. L'approche systémique en éducation consiste à revenir plusieurs fois mais à des niveaux différents sur ce qui doit être compris et assimilé. Elle aborde la matière par touches successives. En suivant un trajet en forme de spirale, on fait un premier tour de l'ensemble du sujet afin de la délimiter, d'évaluer les difficultés et les territoires inconnus puis on y revient plus en détail au risque de se répéter"*. Tout le travail didactique va consister à construire des situations nouvelles, dans le cadre des contraintes d'élargissement bien définies. Ces nouvelles situations doivent permettre à l'élève de s'emparer d'un nouveau problème. Il sera en mesure de construire de nouvelles connaissances. On est alors dans le champ d'une perspective constructiviste des mécanismes d'apprentissage.

L'éducateur utilisant les méthodes systémiques doit se garder de définitions trop précises qui risquent de polariser et scléroser l'imagination. Un nouveau concept doit être étudié sous des angles différents et replacé dans d'autres contextes. C'est l'idée de l'élargissement qui conduit à

75 A. CADIEU et D. SICILIANO. "Méthode d'enseignement de l'électronique". Centre national de documentation pédagogique, Collection Technologie n°6, Paris. Mai 1987. p 36

76 C. VALADE et A. FOUCHER. "Dosimètre". Centre National d'enseignement à distance, Référence D 5440 T. Vanves. 1992. p 12.

77 J. DE ROSNAY "Le microscope, vers une vision globale". Seuil, Collection Points, Paris. 1975. p.266

l'enrichissement mutuel des concepts à raison d'exemples précis, plutôt qu'au maniement systématique d'une définition.

L'équipe de formateur en électronique devrait utiliser des supports d'enseignement élargis qui permettrait d'intégrer plusieurs disciplines et plusieurs niveaux de complexité. Par exemple, il est possible d'enseigner en géographie les conditions d'implantation d'un complexe de raffinage du pétrole à partir de la mise en situation d'un système technique électronique permettant de contrôler la qualité des hydrocarbures.

BERBAUM (78) pense que *"l'action de formation peut être considérée comme un système évolutif"*. Dans cette perspective globaliste, on ne retient pas l'action pédagogique isolée au sens strict (le formé face au formateur), mais l'action pédagogique dans son contexte. L'élève doit avoir le temps d'acquérir ses connaissances à son propre rythme. C'est l'auto-instruction. Les supports d'apprentissages comportant questions et éléments de réponses permettent de suivre un itinéraire souple. L'élève doit avoir la possibilité de vérifier expérimentalement les hypothèses qu'il a émises. Cette interaction doit l'amener à se poser les bonnes questions : précision des mesures, limite de variabilité des paramètres, validité du modèle. Il va chercher dans des livres l'explication convenable. L'acquisition et la compréhension des modèles électroniques en seront facilitées. Est-ce que la formation initiale au métier d'enseignant facilite la mise en place de l'orthodoxie systémique ?

78 J. BERBAUM. "Etude systémique des actions de formation Introduction à une méthodologie de recherche". Presses universitaires de France. Paris. 1982. p 67.

