

LA TECHNOLOGIE GÉNÉRALE

Que l'on envisage la technologie comme un système en interaction avec son environnement, ou la société et la technologie comme un tissu sans couture, un acteur réseaux dont les éléments sont liés dans des configurations complexes, la tâche demeure d'identifier ces éléments et la phénoménologie de leurs associations. S'il est nécessaire de comprendre les associations des acteurs sociaux, il devient incontournable de *comprendre la logique intrinsèque de constitution de la technologie*.

Celle-ci peut être décrite à différents niveaux d'abstraction hiérarchisés (61). Le niveau inférieur de l'abstraction représente seulement le système sous sa forme physique, sa configuration matériel (physical forms). Le niveau immédiatement supérieur représente les procès physiques ou les fonctions des divers composants dans un langage relatant leurs propriétés (physical functions). Au dessus les propriétés fonctionnelles sont représentées par des concepts plus généraux sans référence au procès physiques ou à l'équipement (Generalised functions). Aux niveaux les plus élevés on trouve les fonctions abstraites (abstract function) exprimant la causalité des structures et enfin les fonctions intentionnelles (functional purpose) tels que les systèmes d'objectifs. (62)

Ainsi l'étude des formes et métamorphoses sociales de la technologie se situe aux niveaux les plus élevés d'abstraction. Il faut retourner à sa configuration matérielle et interpréter celle-ci.

En simplifiant le modèle on peut considérer la technologie comme un *édifice de formes physiques et abstraites*.

Les *formes physiques* sont celles des objets techniques et artefacts. Des éléments techniques sont agrégés en individus techniques qui forment des sous-systèmes et ceux-ci des systèmes techniques.

Les *formes abstraites* sont les niveaux des principes technologiques et des lois scientifiques.

Les propriétés et procédés technologiques sont à *l'intersection* de ces deux ensembles.

Cet édifice a l'apparence d'une pyramide hiérarchisée.

L'édifice technologique

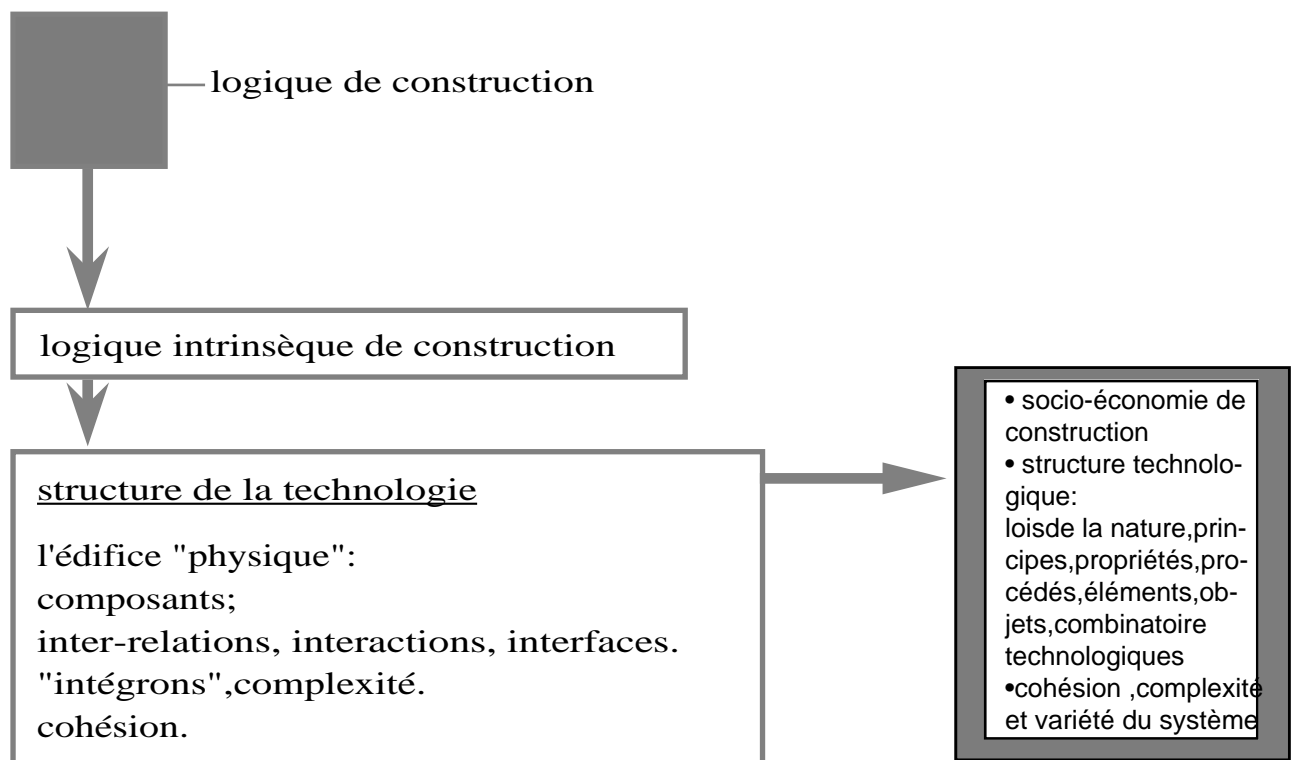
L'étude de la technologie doit donc concerner celle des lois, principes, propriétés physiques qui régissent la constitution des objets et artefacts mais encore la logique d'association de leurs éléments constitutifs et celle de leurs procédés de fabrication.

On l'a dit, la technologie est une création de la société. Pour comprendre les associations hétérogènes (49) constitutives des éléments en relations, humains et physiques, il faut considérer ensemble ces deux groupes. Or, paradoxalement, malgré l'énorme documentation accumulée c'est la

partie "physique" du système technologique - ou de "l'acteur-réseau" - qui est la moins conceptualisée et dont les connaissances sont les moins organisées. Ce qui risque de conduire à un impasse la "nouvelle vague" de sociologues de la technologie. Le projet de *l'Encyclopédie Systémique de la Technologie* est la réponse instrumentale à cette exigence.

(61) J. RASMUSSEN, Skills, rules and knowledge: signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performances models, in systems design for human interaction, ANDREW P. SAGE, IEEE Press, New York, 1987.

(62) Incidemment cette représentation hiérarchique conduit au schéma suivant de l'invention : Si nous acceptons le complexe des strates entre la forme physique et la signification fonctionnelle des systèmes techniques, une "invention" est un saut dans le discernement qui arrive quand une structure mentale remonte de la forme physique tandis qu'une autre descend depuis le sens fonctionnel, alors qu'elles étaient précédemment totalement déconnectées, soudain elles fusionnent dans une description unifiée".



Après avoir été de la construction et des formes sociale à la logique intrinsèque de construction de la technologie, il faut maintenant tenter de percer la structure de celle-ci (ou selon un autre vocable son "*organisation*"). L'analyse de la structure est le cœur du problème taxinomique. Partie du système la structure en incorpore les éléments

Dans ces modèles on distingue 5 niveaux: les lois scientifiques, les principes technologiques, les éléments, les individus techniques, les sous-systèmes et le système technologique. Les propriétés et procédés techniques sont en transaction avec les niveaux technologiques.

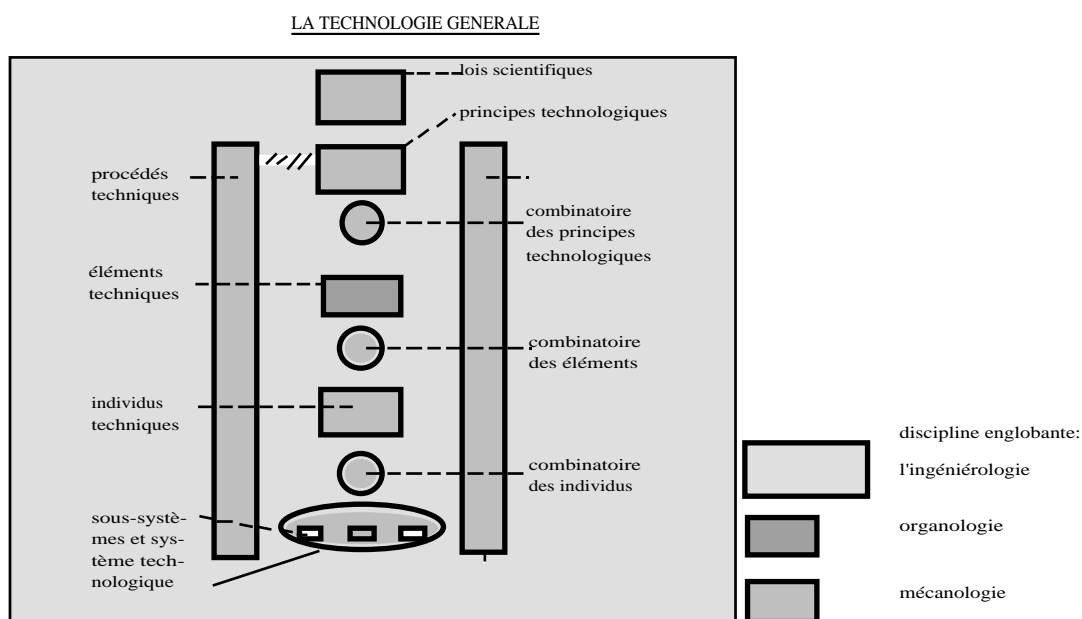
Les composants sont unis par des interrelations horizontales et verticales. Les interfaces verticales ne sont pas univoquement de sens descendant, ainsi que pourrait le suggérer une représentation hiérarchisée. Des relations "remontantes" se manifestent (la fig.3a exprimait le même phénomène).

Principes, éléments, individus se combinent en raison de leurs compatibilités et cohérences dans des ensembles de complexité croissante. Le passage d'un niveau à l'autre s'opère par le changement des propriétés et l'évolution ou la mutation des procédés.

Cet édifice évoque l'image de "l'intégron" (63). L'intégration change la qualité des choses, "car une organisation possède souvent des propriétés qui n'existaient pas au niveau inférieur".(64)

L'étude des "lois " physiques de composition, d'intégration, de passage d'un niveau à l'autre, des propriétés et procédés techniques pourrait constituer un corps de connaissances structurées: **l'ingéniérologie**, de contenu interdisciplinaire.

L'ingéniérologie ou **technologie générale**, science de la constitution et du changement de "l'arche" technologique, engloberait notamment **l'organologie**, ou étude des éléments et la **mécanologie**, ou étude des individus techniques.(65)



Les **lois de la nature** sont une réalité objective. Leurs découvertes et énoncés sont une construction sociale en phases: interprétation flexible des découvertes, convergences et apparitions de "consensus", émergence de la "vérité" et clôture du milieu socio-culturel (41). Bien que marquées d'un "relativisme empirique" dans leur formulation et leur caractère souvent provisoire et inachevé, les lois de la nature n'en régissent pas moins l'univers physique. Elles opèrent donc la structure technologique et les valeurs d'usage correspondantes. La question n'est donc pas celle de leur existence mais celle de leur antériorité ou postériorité par rapport à la pratique technique empirique. On sait depuis longtemps que nombre de techniques ont précédé la découverte de leurs principes scientifiques.

(63) F. JACOB dans la "logique du vivant, une histoire de l'héritage", Gallimard, 1981, définit ainsi l'intégron: "Les êtres vivants se construisent ainsi une série d'empaquetages. Ils sont agencés selon une hiérarchie d'ensembles discontinus. A chaque niveau, des unités de taille relativement bien définie et de structure à peu près identique s'unissent pour former une unité à l'échelon suivant. Chacune de ces unités constituées par l'intégration de sous-unités peut être désignée par le terme général d'intégron. Un intégron se forme par l'assemblage d'intégrons de niveau inférieur; il participe à la construction d'un intégron de niveau supérieur"

(64) l'apparition de nouvelles propriétés liées au niveau d'organisation peut être illustrée par l'exemple de la propriété de superfluidité qui apparaît avec la supraconductivité, à partir de la température de 2,2 kelvins. voir P.W.ATKINS chaleur et désordre, le deuxième principe de la thermodynamique, Belin. 1987.

(65) les termes " d'organologie " et de "mécanologie" ont été proposés par G.SIMONDON, ref. 10.

Ainsi les premiers moteurs à explosion ont fonctionné sans l'aide de la thermodynamique. Les premiers avions ont volé sans celle de l'aérodynamique. La science de la radio-électricité est née après les premières émissions de télégraphie sans fil, et l'électro-acoustique après les enregistrements des sons. Les premières matières plastiques ne devaient rien aux théories de la synthèse chimique.(66)

Les relations entre la science et la technologie peuvent aussi être approchées comme un procès de transformation des représentations, de l'information et de l'organisation .La technologie a pour objectif la transformation de la réalité donnée. Elle injecte de l'information dans les systèmes existants. Mais elle agit en sens inverse de l'activité scientifique. Elle consiste à "transformer des informations réalisées sous forme de représentations mentales (sous forme de plans ou de schémas d'opérations ou de règles de procédures) en information réalisée sous forme d'organisation objective, autrement dit à projeter une information abstraite et libre (constituée précisément par une représentation) sur un support concret qui reçoit ,par le fait même de cette projection, une organisation supplémentaire."(67)

On peut résumer cette analyse par les transformations suivantes:

• activité scientifique: $R_{t-1} \longrightarrow O_o \longrightarrow \Delta_i \longrightarrow R_t$

• activité technologique: $R_t \longrightarrow I\Delta_i \longrightarrow O_1$

ou $R_{t-1} =$ pré-représentation; $O_o =$ état d'organisation initial;

$I\Delta =$ incorporation de

l'information supplémentaire; $O_1 =$ nouvel état de l'information. Le supplément d'organisation ($O_1 - O_o$) ajoute aux systèmes naturels des systèmes artificiels. (68)

Le mouvement science-technologie suit le plus souvent une voie déductive et inductive pour celui technologie-science. (69)

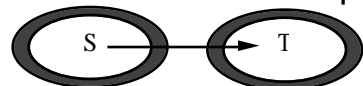
Si les *transferts science-technologie ne sont pas univoques*, -la praxis technique a souvent posé de nouveaux problèmes à la science, y compris aux mathématiques- *cependant ce qui caractérise le progrès technologique actuel est le mouvement de transfert des connaissances, leur algorithmisation, leur intégration dans les êtres techniques*. On doit donc distinguer les cas suivants:

Ó Science et technologie constituent un seul ensemble:



exemples: la micro-informatique et la physique fondamentale; les mathématiques et la technique cryptographique; la biologie moléculaire et le génie génétique.

Ó Science et technique font l'objet d'applications d'ensembles disjoints:



exemples: généralement les techniques "modernes", la fabrication "sur mesure" des nouveaux matériaux, l'imagerie médicale par tomographie assistée par ordinateur, par ultrasons, par résonance magnétique nucléaire.....

Ó Applications techniques implicites de lois scientifiques non formulées ou techniques pré-scientifiques:



exemples: l'invention du haut fourneau, du moulin à vent, de la pompe aspirante, du planeur, de la turbine à gaz.....

(66) Maurice DAUMAS, histoire générale des techniques, PUF, 1962, 1964, 1968.

(67) Jean LADRIERE, les enjeux de la rationalité ; le défi de la science et de la technologie aux cultures. Aubier-Unesco (68) Pierre GONOD, pour une planification conjointe de l'éducation et de la technologie. Institut international de planification l'éducation ,Unesco 1978.

(69) William SHOCKLEY, the invention of the transistor, in the public need and the role of the inventor, edited by F. Essers and J. Rabinow, National Bureau of Standards. Washington D.C., may 1974.

La "*distance*" entre la science et la technologie est donc variable, quasi nulle à très grande. Mais on ne trouve pas dans la littérature des données

systematiques sur sa mesure qui serait pourtant d'un grand intérêt pratique pour l'éducation professionnelle.

Les **Fonctions technologiques** concernent une grande partie des activités de l'humanité et elles dérivent de ses besoins essentiels, tels ceux définis par le B.I.T.: se nourrir, se vêtir, se loger, s'instruire, être en bonne santé, etc.....Se nourrir, par exemple, nécessite un certain nombre d'activités: cueillir, labourer, semer, fertiliser, sarcler, desherber, arroser, faucher, battre, récolter, transporter, ensiler, conserver, transformer.....Les besoins se convertissent en demandes par un processus social complexe, celles-ci varient historiquement et géographiquement en fonction des valeurs d'usage existantes et du niveau des aspirations de la société. Se rattachent aux couples besoins-demandes des *groupes de fonctions techniques*.

La configuration de ces groupes varie selon les niveaux de complexité technologique. Les "paquets technologiques" résultants doivent être constitués, pour un niveau technologique donné, de technologies cohérentes entre elles, l'efficacité du "paquet" étant déterminé par la loi du "minimum". Aux besoins essentiels correspondent des fonctions techniques primaires (ou d'ordre 1), qui se ramifient ensuite en des fonctions d'ordre 2, 3, etc....selon la sophistication du système technologique et de la demande. Les ordres des fonctions se ramifient avec la complexification des processus de production, l'apparition de produits et activités intermédiaires, celle des machines nécessaires pour les produire et des machines qui servent à fabriquer d'autres machines.....

Les fonctions impliquent des processus qu'on classe usuellement selon des flux de matière, d'énergie et/ou d'information. (1) La dialectique processus-processeur est au cœur de la systémographie, comme le rappelle J.L Le Moigne, "l'exercice d'un processus implique l'hypothèse de l'existence d'un *processeur* au moins. Il n'est pas d'activité sans acteur, de production sans producteur." Le processeur est une boîte noire, en activité dans le temps, dont on identifie à chaque instant les intrants et les extrants. Les agents processeurs des activités technologiques pourraient, eux aussi, appartenir à trois types: les processeurs ne modifiant pas la forme des objets processés, dans le temps (stockage), dans l'espace (transport), et ceux qui affectent la forme d'objets constitués de matière, d'énergie et d'information.(1) *Ces typologies pourraient s'avérer utiles pour les premiers taxons des classifications des fonctions, principes technologiques et des objets techniques.*

• *Les fonctions se situent à divers niveaux:*

1 internes à l'individu; 2 externes avec son environnement sociétal: couple, famille, groupes sociaux, nation ..3 les rapports techniques

entre l'homme et la matière, avec l'objet et les moyens de travail; 4 les rapports des groupes sociaux entre eux et des unités de production entre elles; 4 les rapports entre branches d'activité; 5 les rapports entre nations; 6 les rapports de l'individu avec la nature.

Les fonctions techniques ont fait l'objet de nombreux travaux des ethnologues et des technolinguistes. Comme il a été indiqué précédemment il serait intéressant d'établir une classification de *fonctions-objectifs* (18) qui fusionne l'objectif poursuivi avec le principe technologique qui en permet la réalisation.

Les principes technologiques peuvent être illustrés par l'exemple suivant:

Prenons *la fonction d'assembler* des choses ensemble. Il y a divers moyens qui ressortent de *principes techniques différents*: la corde, l'adhésif, la vis, et concernant plus particulièrement les métaux, le boulon, le rivet, la soudure qui comporte de nombreuses alternatives, à chaud, autogène, au chalumeau, à l'arc électrique, par soudo-brasage, etc.....et, pour les textiles, des principes de l'impulsion de chaleur et des ultrasons.

La même fonction d'assembler peut concerner non plus seulement la jonction physique de choses mais l'union de la source d'une force et d'un objet ou d'un mécanisme par les moyens d'engrenages, de chaînes, de joints universels, etc....mettant en œuvre d'autres principes technologiques.

A l'inverse des objets techniques peuvent être très différenciés et dériver d'un même principe de base. Ainsi la roue à eau, le moulin à vent et la turbine sont des appareillages mécaniques pour convertir l'énergie naturelle en force.

Ces principes techniques sont le résultat de l'expérience de pratiques millénaires qui ont le plus souvent précédé l'explication et la codification scientifiques. Mais aujourd'hui la plupart d'entre eux se rattachent au corpus scientifique. Ils dérivent, par exemple, des notions fondamentales de la statique: composition des forces, conditions d'équilibre, centre de gravité, frottement, etc....de celles de la cinématique: translation, rotation, oscillations, chute libre, jet, mécanismes tels ceux des systèmes bielle-manivelle, de l'accouplement cardan, etc....de celles de la dynamique: force centrifuge, oscillations harmoniques mécaniques et pendulaires, choc, etc...de celles de la résistance des matériaux: tension mécanique, traction, compression, force interne, flexion, cisaillement, torsion, flambage, etc.....Dans les cas précédents les principes technologiques s'accompagnent de règles et de formules de calcul.

Les principes technologiques peuvent ou non s'associer entre eux, ainsi la combinaison des principes de l'électrostatique et de la photo-conductivité a abouti à celui de la xérogaphie, un "intégro" aux propriétés nouvelles. Si l'humanité a découvert empiriquement un grand nombre des principes de son activité technique, celle-ci s'enrichit de

l'apparition d'autres principes-la supra conductivité-par exemple, qui élargissent et complexifient le système technique.

Les principes technologiques sont à la fois expression des lois de la nature et moyen d'action sur elle.

Les éléments

On ne dispose pas, comme en chimie, d'une table de Mendelejeff de la classification des éléments technologiques. C'est le niveau le plus flou de l'édifice technologique. Il ne paraît pas qu'un travail systématique de classification ait été entrepris pour l'explorer. Sans doute est-il subordonné à l'analyse amont de la combinatoire des principes technologiques, les éléments matérialisant les combinaisons. L'étude des éléments, rappelons le, constituerait selon G. Simondon "l'organologie".(10)

Ces "éléments" - ou , selon l'expression de G. Baudrillard par analogie avec la linguistique- ces "technèmes", (69) seraient les vecteurs insécables des technologies et constitueraient le premier étage du système technique. Simondon donne comme exemples d'éléments techniques les triodes, les klystrons, les magnétrons, ce serait à ce niveau que s'effectuerait le transfert des contenus techniques. Cette thèse peut être élargie. En effet un nombre limité d'éléments usuels apparaissent les premiers matériaux de l'édifice technologique qui s'est constitué au cours de l'histoire. Mécanismes, dispositifs, appareillages, ce que les anglo-saxons appellent les "key devices" peuvent être considérés comme des éléments. Il en va ainsi pour la roue, le levier, le coin, le fil , le filet, la corde ,le nœud, la chaîne, le ressort, le palier, l'engrenage, la valve, le coin, la manivelle, le pendule, le giroscop, la pompe à air, le régulateur de vitesse, le roulement à bille, l'électro aimant, la cellule photo-électrique, les lentilles optiques et magnétiques, et, plus récemment, l'aérosol, le transistor, le micro-processeur, le laser.....(70) Ces éléments entrent comme composants des objets techniques et sont répandus à des millions ,voire des milliards d'exemplaires .(71)

Ces éléments ne sont pas pourtant toujours insécables, il peuvent avoir des composants. L'élément n'est pas l'élémentaire. Il constitue lui même un système, comme l'atome en physique. Mais par analogie, pour ces "éléments" technologique qu'est-ce qui correspondrait à l'ordre de masses atomiques ? Y-a-t-il une relation entre cet ordre et les propriétés technologiques ? Y-a-t-il des "périodes" ? Y-a-t-il à l'intérieur des éléments l'équivalent de

(69) J. BAUDRILLARD "Le système des objets", Denoël Gauthier, 1968.

(70)voir Eureka, an illustred hidtory of inventions from the wheel to the computer, edited by Edward DE BONO, Holt,Rinehart and Winston.1974

(71) Par exemple on estime qu'il est produit chaque année plus de un milliard de paliers.

l'atome hydrogène comme unité de combinaison et de valence, ou plusieurs atomes ? Les technologies ne constituent-elles pas des sortes de groupements moléculaires dont le type de

liaison atomique peut être comparé aux différents modes d'agencement électroniques ? Simples questions sans réponses.

Sinon que le nombre des "éléments" technologiques n'est pas fini comme en chimie, il augmente avec la recherche scientifique et technique et la praxis. Sinon encore qu'on pressent que les éléments techniques ont des propriétés intrinsèques de s'associer entre eux selon des valences variables, mono, pluri ou polyvalentes. Ainsi une des propriétés essentielles des "technologies nouvelles", l'informatique notamment, est leur grande capacité d'association par convergence, intersection ou union. Le concept de "grappe technologique" illustre cette évolution (72). Sinon enfin que la "variété" du système technologique est plus élevée que celle du système chimique en raison du nombre plus grand de ses éléments et, probablement, d'une plus grande flexibilité de liaison entre eux et d'associations de technologies.

L'"*organologie*" serait donc l'étude du taxon des "éléments" techniques, de la concrétisation des principes scientifiques et technologiques abstraits dans des structures physiques dotées de propriétés et créés par des procédés.

Les objets et individus techniques

Le niveau suivant serait celui des "individus", par exemple, un poste de télévision, un microscope, un ordinateur, un avion, une turbine, un four à cuire, une machine à laver, une charrue ou des outils comme un marteau, ... Toujours selon G. Simondon l'étude des individus techniques complets constituerait la *mécanologie* (10).

Il est intéressant de rappeler les thèses formulées il y a une vingtaine d'années par Simondon et qui sont malheureusement tombées dans l'oubli alors qu'elles ouvraient la voie à une réflexion essentielle.

- L'objet technique "abstrait" est "la traduction en matière d'un ensemble de notions et de principes scientifiques séparés les uns des autres en profondeur...Cet objet est la traduction physique d'un système intellectuel" On peut ajouter d'un système intellectuel éclaté.
- L'objet technique "concret" n'est pas "qu'une simple application ou un faisceau d'applications de ces principes scientifiques. Il tend vers la fermeture du système des causes et des effets qui s'exercent circulairement à l'intérieur de son enceinte, et de plus, il incorpore une partie du monde naturel qui intervient comme condition de fonctionnement." (73)

En d'autres termes, en acquérant la structure d'un système, l'objet technique concret devient de plus en plus semblable à l'objet naturel, c'est dans ce sens qu'il se "concrétise". Sa structure a le même statut qu'une structure naturelle, bien qu'elle puisse présenter un arrangement différent de celle-ci. Alors que dans l'objet abstrait chaque structure est chargée de remplir une fonction définie, et généralement une seule, dans l'objet technique concret l'organisation des sous-ensembles est fonctionnelle dans le fonctionnement total. "La spécialisation se fait non

par fonction mais synergie par synergie, et c'est le groupe de fonctions et non la fonction unique qui constitue le véritable sous-ensemble dans l'objet technique ". Dans l'objet technique concret il y a correspondance pluri-fonctionnelle dans l'objet technique.

Les objets techniques , selon leur niveau, possèdent ou non un *milieu associé*. Les éléments techniques se distinguent des véritables individus en ce sens qu'ils ne possèdent pas de milieu associé. Par contre "il y a *individu technique* lorsque le milieu associé existe comme condition sine qua non de son fonctionnement. Dans le cas contraire il y a ensemble. "Il y a récurrence de causalité entre le milieu associé et les structures, mais cette récurrence de causalité n'est pas symétrique. Le milieu joue un rôle d'information, il est le siège des auto-régulations"..mais tandis que " le milieu est homéostatique, les structures sont animées d'une structure non récurrente, elles vont chacune dans leur propre sens". La différenciation des éléments en permet son intégration au fonctionnement de l'ensemble.

(72) G.E.S.T. Grappes technologiques. Les nouvelles stratégies d'entreprise, MC GRAW HILL, 1986.

(73) La thèse de Simondon rejoint le principe de récursivité de Edgar Morin.

• *L'objet technique est intégrateur*. "L'objet technique, bien loin de se situer tout entier dans le contexte d'une science particulière, est en fait au point de concours de multitudes de données et d'effets scientifiques provenant des domaines les plus variés, intégrant les savoirs en apparence les plus hétéroclites, et qui peuvent ne pas être intellectuellement coordonnés, alors qu'ils le sont pratiquement dans le fonctionnement de l'objet technique ."

Il n'y a pas de machine qui ne soit en même temps un être mécanique, chimique et informatique. "La machine est extérieurement faite pour obtenir un certain résultat; mais plus l'objet technique s'individualise, plus cette finalité externe s'efface au profit de la cohérence interne de fonctionnement; le fonctionnement est finalisé par rapport à lui même avant de l'être par rapport au monde extérieur."

La thèse est ici au cœur de la *logique de fonctionnement de la technologie*. Elle ne s'oppose pas à celles de la construction sociale de la technologie-cette logique est, elle aussi, sociale - mais elle la complète par la dimension de l'organisation intrinsèque de la technologie. De là découlent d'importantes conséquences:

- d'abord l'impressionnante cohérence interne de la technologie conduit à une apparente "autonomisation";

- la potentialité qu'a la technologie, en tant que processus intégrateur, de reconstituer des savoirs en miettes, et, réciproquement, l'importance d'une nouvelle configuration des savoirs pour le développement technologique lui même.

-ensuite la nécessité pour maîtriser le système de "l'opérer" à la fois de l'extérieur et de l'intérieur (ce qui est une caractéristique commune avec le système éducatif);
-enfin, la difficulté objective de modifier le développement technologique en fonction des nécessités écologiques et de la récupération des ressources non renouvelables (74)

- Le début d'une *lignée d'objets techniques* constitue une "essence technique". Celle-ci se "reconnait au fait qu'elle reste stable à travers la lignée évolutive, et non seulement stable mais encore productrice de structures et de fonctions par développement interne et saturation progressive" Il y a donc dans l'immense population des objets techniques des "familles" dont l'identification serait précieuse pour l'enseignement et la maîtrise de la technologie. On peut penser que " les espèces techniques sont en nombre beaucoup plus restreint que les usages auxquels on destine les objets techniques" Les directions de convergence des espèces techniques évoluent vers un petit nombre de types spécifiques.

Le "*système des objets*" est encore peu exploré. Il est le résultat complexe de logiques d'organisation intrinsèque et extrinsèque qui s'associent dans la création "d'intégrons successifs". La synthèse entre les thèses de Simondon et celles du "tissu sans couture" (41) pourrait être la suivante: la technologie étant un processus intégrateur, l'individu technique intégrant les éléments possède une fonction intrinsèque, l'ensemble intégrant a également une fonction extrinsèque qui est celle du système constitué. Les composants ou les individus ne peuvent s'intégrer que dans la mesure où leurs fonctions intrinsèques, d'abord sont complémentaires, ensuite sont interdépendantes par rapport à la totalité constituée par la fonction extrinsèque du niveau supérieur. Il y a une structure à chaque niveau, et une structure des structures au niveau englobant. (75)

La fonction extrinsèque englobante est constituée, d'une part, des valeurs d'usage de référence, des potentialités techniques existantes, d'autre part des procès contradictoires de l'imagination créatrice et de l'autocensure au stade de l'innovation, des facteurs économiques stimulant ou freinant sa diffusion, d'un procès de négociations entre les acteurs sociaux

(74) L'objet technique structuré, à autorégulation interne, n'est plus fait d'éléments séparés, et par là même, plus aisément récupérables. Le recyclage doit donc être prévu dès le moment de la conception, ce qui implique un élargissement du champ d'action des ingénieurs de conception, de hisser la R et D à un niveau supérieur, compatibilisant la logique interne et l'unité de l'objet technique avec la partition ultérieure de ses composants.

(75) P.F.GONOD, pour une planification conjointe de l'éducation et de la technologie. Institut international de planification de l'éducation, Unesco, 1978

impliqués (76), d'inductions culturelles (69). Ces dernières, selon J. Baudrillard seraient déterminantes, les "objets fuient tous continuellement de la structure technique vers les significations

secondes, du système technologique dans un système culturel ... la surcharge de l'inessentiel dans l'objet compromet son statut objectif réduit l'autonomie structurelle du niveau technologique". Ce qui rendrait chimérique l'étude d'une "technologie structurelle" en raison de la continuelle évolution des éléments (technèmes) impliqués dans la révolution permanente des objets. Effectivement l'histoire des techniques montre pour de nombreux objets, l'influence des symboles (les premières automobiles, les "belles américaines" des années 50) et des signes sociaux (bicyclette par exemple (77)). Mais elle montre aussi *l'autre force* en présence, la rationalité technologique qui modèle aussi les objets. La conception assistée sur ordinateur de l'Airbus n'autorise guère de "surcharge de l'inessentiel". Les instruments de la médecine moderne, le scanner, les échographes, les spectoscopes à résonance magnétique nucléaire, ne perdent pas leur statut objectif. Pas plus au demeurant que les objets électro-ménagers courant ou que la nouvelle génération des automobiles qui continuent certes à incorporer symboles et signes sociaux, mais aussi accentuent la rationalité technique permise par le développement de l'électronique régulant les sous-systèmes de l'automobile en fonction des besoins d'économie, de standardisation, de performance, de sécurité, de contrôle des émissions (78). Peut-être le statut des objets techniques et leur évolution pourraient être décrits, cas par cas, là aussi, à l'intérieur d'un triangle (79) par leur position entre les pôles de la culture, de l'économie et de la logique intrinsèque de la technologie.

La taxinomie des objets techniques pourrait aussi considérer à la fois la complexité de leurs fonctions et celle de leur fabrication. Des échelles de grandeur sont concevables. Des objets sont mono ou pluri-fonctionnels. Ils ont des degrés différents de facilité d'utilisation. La complexité d'utilisation a pu être réduite et transférée aux organes de la machine ou à son logiciel(ex les micro-ordinateurs). Ils sont constitués d'une seule pièce ou d'une multitude qui peut parfois s'exprimer en puissance de dix: 10^3 pour une automobile, 10^6 pour un vaisseau spatial, par exemple. Leurs éléments sont relativement indépendants ou, au contraire, strictement interdépendants. Il conviendrait de les classer selon ce critère. Leurs performances suivent des échelles: Ainsi le passage de l'industrie mécanique de précision à la mécatronique est aussi celui d'un changement de l'échelle du 1/10 -1000 de millimètre au 1/1000-1/10000, celui du microscope optique au microscope électronique est une multiplication du pouvoir de résolution par 10^3 , voire 10^4 .

Ces ruptures sont liées à des changements de principes technologiques, les nouvelles lignées technologiques se développent jusqu'à saturation dans un espace délimité par les contraintes physiques : ex. la saturation du microscope électronique, les progrès sont attendus désormais d'une autre génération technologique par la mise en œuvre d'autres principes, "l'effet tunnel"(81)(82).

(76) Voir l'analyse de Michel Callon, doc. cit. réf. 49

(77) Voir Tevor J. Finch and Wiebe E. Bijker, doc. cit. réf. 42.

(78) Voir "Our wheels go global" a special report, Spectrum, IEEE, oct. 1987.

(79) Voir précédemment la représentation trialectique.

(81) Voir June KINOSHITA "Sons of STM - Scanning Tunneling Microscope spawns diverse applications", Scientific American, July, 1988.

(82) Même observation concernant les semi-conducteurs. Les lois physiques qui gouvernent le comportement des composants des circuits intégrés fixent les limites fondamentales de la taille de ceux-ci. L'estimation varie de 100 à 500×10^{-9} . Pour rendre les circuits intégrés plus performants il faut donc développer une nouvelle frontière pour les semi-conducteurs. Les bases fonctionnelles pour cette percée paraissent celles des effets de la mécanique quantique qui transporterait la technologie des semi-conducteurs dans le domaine de la physique où les particules sous-atomiques se comportent comme des vagues et passent à travers des barrières auparavant impénétrables. A condition de créer les technologies correspondantes, ces appareils pourraient être 100 fois petits que les actuels circuits intégrés et, par voie de conséquence, plus puissants et plus rapides. Voir Robert T. BATE "The quantum-effect service, tomorrow's transistor? Scientific American, March 1988.

Des classifications multidimensionnelles devraient permettre de comparer la valeur d'utilité des objets, leur facilité d'utilisation, la complexité de leur constitution et la complication de leur fabrication, les continuités à l'intérieur des lignées avec les ruptures et les frontières physiques de développement. Sans nul doute on y trouverait une source d'inspiration pour l'invention et l'innovation, de réflexion sur l'adéquation entre les fonctions d'utilité et de fabrication, un outil de critique qualitative de la consistance de l'objet et des moyens de le réaliser, prolongeant sur un terrain plus fondamental les méthodes de l'analyse de la valeur utilisées en économie.

Les propriétés technologiques

Une propriété est une qualité, une fonction particulière qui distingue des autres choses. Fonctions, principes et propriétés sont des catégories en connexion, et souvent le même mot les désignent. On parle de principes ou de propriétés mécaniques, chimiques, électriques, magnétiques.....(généralement, en français avec le suffixe *ique*); de fonctions de nutrition et de propriétés nutritives (le suffixe *ion* marquant davantage la fonction); de propriétés qui caractérisent un état (avec le suffixe *té*): élasticité, porosité, solidité....les suffixes *ive*, *aire*, *ance*, *ence*expriment aussi, selon les cas, propriétés, principes ou fonctions. L'incertitude du langage reflète les rapports étroits des notions. Principes et propriétés peuvent se définir mutuellement: les découvertes des principes et des propriétés peuvent être concomitantes, l'une étant la condition de l'autre. Celles des propriétés de certains matériaux et du principe de la super conductivité vont de pair, à son tour la découverte de nouveaux superconducteurs questionne la théorie. (83) (84)

Il y a des propriétés "naturelles", qui sont des données pour l'activité humaine dès lors qu'elles sont identifiées et peuvent être utilisées. Il y a les propriétés "créées", fruit du processus d'artificialisation qui caractérise la constitution de la technosphère. Si la table des éléments chimiques a un nombre fini, ni les éléments techniques ni les propriétés dont ils sont porteurs, ne constituent un univers clos. La rencontre de

deux propriétés, l'électrostatique et la photoconductivité, par exemple, peut engendrer une propriété nouvelle: la xérogaphie. Peut être y a-t-il ici une analogie avec la transformation de l'information en néguentropie?(85). Par ailleurs, la plasticité des nouvelles technologies permet désormais un retournement de situation: la faculté de faire des matériaux "à la commande", dotés de propriétés pré-déterminées.(86) Pratiquement il serait utile de disposer de banques de données sur les propriétés et de structurer l'infomation afin qu'elle puisse servir de matrices de découverte, ce qui implique, là aussi l'établissement de typologies.

Les procédés

La technique est faite de procédés opératoires , en principe,"rigoureux, définis, transmissibles, susceptibles d'être appliqués à nouveau dans les mêmes conditions, adaptés au genre de problèmes et de phénomènes en cause"(87). En raccourci le procédé est une *manière de faire*. Chaque procédé va donc être une combinaison spécifique de mise en œuvre de principes et propriétés techniques, par des hommes dotés d'outils, de machines, d'énergie, d'information, d'algorithmes, de règles, de programmes, selon des séquences ou des ordres d'opérations non arbitraires.

83) voir Theory-resistant, new superconductors yield their secrets reluctantly, Scientific American, december 1988

(84) la théorie peut aussi précéder la découverte, c'est le cas de la théorie électromagnétique de Maxwell de 1862 alors que la mise en évidence d'ondes EM, autres que la lumière, dut attendre 1887 avec Hertz.

(85) sur cette question, voir E.MORIN, doc.cité réf.3

(86) P. COHENDET, ref. 14

(87) Madeleine GRAWITZ Lexique des sciences sociales , Dalloz, 3^e édition 1986

Pour obtenir le résultat visé il peut n'y avoir qu'une seule voie, une seule manière de faire. Mais le plus souvent il existe des alternatives. Celles-ci résultent soit de la coexistence de plusieurs principes ou propriétés, soit des proportions relatives de la force de travail et du capital mécanique fixe, de la part des savoir faire non formalisés, des degrés d'algorithmisation de ceux-ci dans les machines et les logiciels, des rapports entre le travail manuel et intellectuel, du type d'énergie, du choix des matières premières, de la disposition des opérations, etc... *Chaque procédé est une configuration organisée.*

La littérature qui concerne les procédés est immense, elle constitue le fond essentiel de la littérature technique. Cette abondance est chaotique. Il y a deux façons principales de ne pas être informés: la première est de ne pas en avoir , la seconde est d'en être submergé. Cette dernière forme n'est pas la moins pernicieuse. C'est pourquoi *l'organisation* de cette masse de données représente une tâche essentielle. Il s'agit en définitive de socialiser les "manières de faire", c'est à dire de créer les

conditions de choix éclairés sur la manière de produire, de distribuer, de transporter, de transformer, de conserver. Contrairement à ce que la définition citée précédemment peut laisser supposer, l'information technique, si elle est transmissible, n'est pas toujours transmise. Une partie est "aliénée" par le droit de propriété (88). *L'information sur les alternatives technologiques* est indispensable pour leur évaluation, aussi bien sur le plan de l'entreprise que sur celui de la société.

C'est la première partie du diptyque pour un mécanisme sociétal d'évaluation-sélection- décision des politiques technologiques. L'autre concerne l'analyse critique du produit en regard de ses fonctions et des besoins. Or l'information décisionnelle, généralement n'existe pas dans la "littérature libre". Elle doit être constituée, ou reconstituée, pour apprécier les quantités et les coûts respectifs des inputs et des outputs, afin de pouvoir évaluer l'économie des alternatives techniques existantes dans un autre contexte économique et tenir compte d'une structure spécifique différente de prix .(89)

Par ailleurs l'information sur la disponibilité , les possesseurs , les conditions de commercialisation de la technologie, n'est pas directement accessible, quand elle l'est. Ce qui pose, pour les pays en développement et pour les petites entreprises des pays industriels, de difficiles problèmes. Leur solution implique l'organisation d'une information élaborée de type nouveau dont la faisabilité à été testée en Amérique Latine: *l'informaton technico-économico-commerciale* (T.E.C.) (90). L'expérience de l'industrialisation des PVD montre aussi que les échecs proviennent souvent d'une mauvaise appréciation des qualifications requises dans le travail, moins au niveau du travailleur individuel, que du collectif. L'information concernant les incidences des alternatives techniques sur l'organisation du travail, les niveaux nécessaires de qualification, les points clés des procès de production qui nécessitent l'intervention coordonnée d'une équipe de travail, est pratiquement inexistante.(91) Il faudrait donc compléter l'information T.E.C. des alternatives des procédés par une *information technico-économico-sociale*, pour ne citer que quelques applications opérationnelles.

Une autre direction de structuration de l'information est la *constitution d'arbres et de graphes technologiques* (92). La méthode est dérivée de celle de l'analyse morphologique inventée par F. Zwicky, par ailleurs remarquable astronome (93). La méthode de l'analyse morphologique consiste en une exploration systématique de l'ensemble des combinaisons possibles susceptibles d'atteindre un résultat déterminé. Ainsi on peut décrire des procédés sous forme d'une matrice morphologique en correspondance avec le problème à résoudre. On

(88) voir précédemment dans "l'hypothèse générale" les formes sociales de la technologie.

(89)Une approche de ce type d'information est celle ,dans la chimie, rassemblée par le Standford Research Institute et qui est accessible par souscription

(90) German FRAMIGNAN,Pierre GONOD, Carlos MARTINEZ- VIDAL, information para la transfereencia de tecnologia, Comercio Exterior, Banco national Mexico,octubre de 1976

(91) constatation faite dans toutes les consultations industrielles mondiales organisées par l'ONUDI

(92) D.FORAY,P. GARROUSTE, le dispositif d'observation: analyse morphologique et arborescence technologique.,doc cité ref. 37

(93)F.ZWICKY, doc.cité ref.36

établit une "boîte morphologique" à n dimension du ou des procédés. L'application de la méthode conduit à définir les diverses *alternatives possibles* pour chacun des paramètres repérés, et, si aucune contradiction interne n'apparaît entre les principes et propriétés technologiques en jeu, on peut déterminer les solutions techniques virtuelles,

c'est à dire en définitive la variété potentielle de la combinatoire.

On établit ainsi une *matrice de découverte* des possibilités offertes par les éléments, les principes, propriétés, savoir-faire, équipements disponibles. La méthode devrait permettre aussi de déceler les *proximités entre procédés*, et, par la même de d'identifier la capacité des opérateurs de passer d'un procédé à l'autre sans que ce transfert nécessite l'acquisition de connaissances opératoires radicalement nouvelles. On pressent l'importance de l'approche, elle peut fournir l'instrumentalité pour de nouvelles configurations des métiers, d'ouvrir des cheminements pédagogiques concrets pour l'éducation professionnelle visant à créer des filières nouvelles de polyvalences, c'est à dire la flexibilité à visage humain. (voir au chapitre VII, esquisse d'une maquette de l'E.S.T. informatisée, les progiciels dérivés)

En définitive, le croisement des informations sur les principes, les propriétés, les procédés, les objets techniques constituerait une puissante instrumentalité pour la compréhension de la technologie, la stimulation de l'innovation, la prospective, la réflexion sur les choix cruciaux, la critique active des valeurs d'usage et sur la manière de les produire.

Sous-systèmes et système technologiques

"L'arche" technologique est un édifice d'intégrons. Le "système" en est l'ensemble. Il comprend des niveaux d'abstraction hiérarchisés (lois de la nature, principes techniques), des formes physiques (éléments, objets, propriétés, procédés) des fonctions intentionnelles.

Les éléments s'assemblent en objets, les individus forment au niveau succédant des "collections" ou ensembles d'individus techniques : un atelier, une usine par exemple. On peut les assimiler à des sous-systèmes eux-mêmes inclus dans d'autres sous-systèmes et dans le système technologique résultant. Mais la classification et l'emboîtement des gigognes technologiques ne sont pas évidents.

D'abord *les frontières entre les termes de sous-système et système ne sont pas nettes.* On peut dire "système, pour tout système qui manifeste autonomie et émergence par rapport à ce qui lui est extérieur; sous-système, pour tout système qui manifeste subordination à l'égard d'un

système dans lequel il est intégré en partie"(94) Ainsi le système technologique n'est manifestement pas autonome par rapport à ce qui lui est extérieur, ce qui n'exclue pas l'existence de lois de composition internes. Selon cette définition il constitue un sous-système comprenant lui même des sous systèmes.

Ensuite, *les sous-systèmes technologiques peuvent ne pas épouser les classifications des activités économiques*. Ainsi le secteur des industries électromécaniques est un conglomérat qui associe différents ensembles et sous-ensembles technologiques. Les fonctions de production technologique des biens d'équipement comprennent 123 variables dont la plupart représentent des technologies mécaniques, électriques, électroniques, chimiques, hydrauliques, pneumatiques, des matériaux, du vide, du froid, de l'ingénierie etc. ... La technologie des branches de production est un "package". Les "systèmes de production" dans le sens donné par M. Joan Woodward (95) par exemple, production sur devis, de masse, en continu, présentent peut-être à l'intérieur des classes considérées, certaines caractéristiques communes indécélables par l'analyse des branches de production prises une à une. Mais cette hypothèse n'a pas été explorée.

(94) pour l'analyse critique des catégories de système, sous-système, supra, éco, méta-systèmes, voir E.MORIN, doc. cité réf.3.

(95) Joan Woodward "Industrial Organizations - theory and practice -", Oxford University Press, 1965.

La relation entre le découpage du système industriel et la taxonomie des technologies reste largement à établir (96). On pressent que cette relation se modifie avec l'évolution des technologies et des jeux des acteurs sociaux.

Sous-systèmes, technologies génériques?

La *mécatronique* est le résultat de la fusion de la mécanique et de l'électronique (97). La *photonique* émerge comme un ensemble de technologies de pointe fondées sur les propriétés de l'interaction lumière-matériau, elle est constituée de quatre gammes de produits : les lasers, les fibres optiques, les systèmes d'acquisition de traitement et d'affichage des données, les systèmes photovoltaïques et solaires (98). La *bureautique* est aussi un champ renouvelé par les technologies de traitement de l'information. Avec l'apparition du *génie génétique* les frontières se déplacent entre les activités de l'agro-alimentaire, de la chimie, de la pharmacie...S'agit-il de sous-systèmes?

La *robotique* peut être, elle aussi, envisagée comme un sous-système transversal, agrégeant dans une combinaison cohérente diverses technologies. Est-ce une technologie générique?. Cette dénomination apparemment claire si on l'entend selon le Larousse comme ce qui "convient à toute une catégorie ou à toute une espèce et non à un

individu en particulier" l'est beaucoup moins dans la pratique. C'est ainsi que la révélation des politiques technologiques des entreprises japonaises a fait découvrir l'importance des "technologies génériques" (99). Dans l'arbre figuratif - le bonzaï - de la fonction technologique, les technologies génériques sont les racines. Elles sont qualifiées de génériques en ce sens qu'elles sont très proches des disciplines scientifiques et non finalisées : biochimie, micro-biologie, génétique, thermodynamique, optique, etc. L'entreprise transfère en son sein les connaissances scientifiques fondamentales, et dispose ainsi d'une assise qu'elle entretient et qui lui permet de réaliser des innovations technologiques. Le tronc de l'arbre représente le potentiel industriel de l'entreprise qui s'articule à partir des technologies génériques et qui intègre les compétences technologiques industrielles, de gestion et de formation, qui ne sont pas encore finalisées dans un produit précis. Concernant la technologie, la "différenciation avec le niveau précédent (racines) se fait par l'élargissement des champs ouverts, une approche beaucoup plus centrée sur le développement que sur la recherche, l'interaction entre les différentes technologies et l'intégration du design et des technologies de production".

C'est aussi cette *proximité des principes scientifiques* qui caractérise pour le National Bureau of Standards des USA, les technologies génériques. Alors que la recherche de base est celle des principes scientifiques, la recherche de la technologie générique est "l'organisation d'un jeu de principes scientifiques en forme conceptuelle pour une éventuelle application et du laboratoire qui teste le concept" (100).

Dans un autre sens les technologies génériques sont celles non protégées par une marque (101). L'aspirine est une "generic drug".

On admettra aisément qu'il ne serait pas inutile de clarifier cette question qui est une des nombreuses qui concernent les niveaux taxinomiques de la technologie.

(96) Sur les représentations du système productif voir l'article de Jean Laganier, *Traité d'Economie Industrielle*, Economica, 1988.

(97) Tasuku Noguchi "Technologies de pointe et stratégies industrielles au Japon", *Travail et Société*, oct.-Nov. 1983, BIT Genève.

(98) Patrice Brendele, Patrick Cohendet, Régis Larue de Tournemine "La photonique dans l'innovation", op. cit. réf.

(99) Les bonzaï de l'industrie japonaise, *Eléments de réflexion sur l'intégration de la technologie dans la fonction stratégique des entreprises japonaises*. Etude réalisée par SEST-EUROCONSULT CPE, juillet 1984. Voir aussi Marc GIGET "The bonzaï trees of Japanese industry", *Futures*, April 1988.

(100) Gregory TASSEY "The role of the National Bureau of Standards" in "Supporting Industrial Innovation", *IEEE Transactions on Engineering Management*, August 1986.

(101) Webster's Dictionary, 1977.

En fait, derrière cette question de l'identification de sous-systèmes et de technologies génériques se profile celle beaucoup plus importante du *paradigme technologique*.

L'agrégation en sous-système est une opération mentale à posteriori. Il en est de même du système. Mais ces abstractions sont fondamentales pour la compréhension de l'ensemble. Les différents systèmes technologiques qui se sont succédés ont comme caractéristiques communes une cohésion et des cohérences et une logique ou un paradigme dominant. Il y a eu une logique mécanicienne dominante, une logique électrotechnique qui ont marqué l'ensemble du développement technique de leur époque. Il y a aujourd'hui l'émergence de l'informatisation. En d'autres termes, des principes techniques ont abouti à la création de sous-systèmes qui ont opéré transversalement les activités, ils se sont imposés et ont eu un effet d'entraînement sur l'ensemble. Cet entraînement résulte d'un processus complexe. Les principes techniques ne sont pas indépendants des paradigmes existants, mais réciproquement ils en sont un constituant. Ils exercent une action d'imposition sur les techniques dérivées d'autres principes, mais, réciproquement, ils ne peuvent émerger que grâce à l'existence d'autres technologies qui sont les conditions permissives de constitution des technologies qu'ils engendrent et qui ne peuvent se diffuser que grâce à un ensemble de conditions socio-économiques. Ce jeu est orienté par un paradigme, c'est-à-dire par les nouveaux principes qui vont gouverner le comportement des innovateurs et des décideurs (102), donc des acteurs sociaux décisifs. La micro-informatique et l'informatique ont un contenu "révolutionnaire" qui façonne le système technologique actuel. Peut-être l'étape suivante sera-t-elle marquée par la biotechnologie, c'est-à-dire les technologies permises par le développement de l'informatique et la conquête de l'infiniment petit, qui, en maîtrisant la complexité du vivant opère un retour par l'artificialisation vers le "naturel. L'entendement du mouvement actuel de transformation, qui met en jeu des forces complémentaires ou antagonistes, requiert une dialectique complexe. La compréhension des systèmes techniques où Bertrand Gilles (103) a joué un rôle de pionnier nécessite beaucoup de travail. Cette tâche devrait être le domaine de "l'ingéniérologie", interdiscipline de la constitution et du changement de "l'arche" technologique.

Les ordres de grandeur

L'entreprise de l'E.S.T peut paraître utopique, irréaliste. Un calcul sommaire basé sur le rythme estimé de croissance des informations scientifiques et techniques suggère en effet que l'univers technologique doit être aujourd'hui de 600 à 2000 fois celui que Diderot et d'Alembert décrivaient dans l'Encyclopédie. Comme il a été dit il, est vrai que l'on dispose aussi de moyens autrement plus puissant et que la masse des deux millions de scientifiques de haut niveau et des trois millions ingénieurs et de techniciens a cru sans doute proportionnellement à la masse des connaissances. Cette croissance est duale : d'un côté a été mise en place une formidable machine à engendrer l'aléatoire, l'imprévisible (104), de l'autre une puissance potentielle énorme existe pour comprendre la technosphère et en maîtriser le développement. Mais

la mobilisation d'une fraction même de cette masse est une tâche plus difficile qu'au siècle des Lumières. Encore faut-il que cette compréhension constitue un "problème" pour le groupe social concerné (41).

Si l'on tient compte de l'émergence de la commande sociale de la maîtrise sociale de la technologie et du phénomène récent du développement d'une éthique professionnelle chez les ingénieurs, américains notamment, la condition fondamentale d'une entreprise telle que l'E.S.T, est en voie de création.

Malgré ces nouvelles conditions le projet serait irréaliste s'il s'attaquait d'emblée à la taxinomie des millions d'objets techniques et d'artefacts. La réflexion conceptuelle et méthodologique subordonne l'organisation de l'entreprise.

102) FREEMAN,C. Technologies nouvelles,cycles longs et avenir de l'emploi, dans Salomon J.J.,Schmeder G. les enjeux du changement technique,Economica, Paris 1986

(103) GILLES B. Histoire des techniques,NRF, la Pléaïde, Paris 1978.

(104) DANZIN André "La société française façonnée par la technologie", Revue des Sciences morales et politiques, 1983.

C'est pourquoi il n'est pas inutile de fixer les idées sur les *ordres de grandeur des différents taxons d'une technologie générale.*

- Les *lois scientifiques* sont relativement peu nombreuses. Au total les lois scientifiques principales paraissent plus être l'ordre de 10^1 que de 10^2 (105)
- Les *principes technologiques* essentiels dérivés sont sans doute de l'ordre de 10^2 .
- Les *fonctions-objectifs* qui croisent des principes technologiques avec des objectifs sociaux sont peut-être de l'ordre de 10^3 .
- Les *propriétés technologiques* devraient être du même ordre. Un comptage rapide conduit à ces estimations.

Ainsi les fonctions techniques principales peuvent être comptabilisées à partir d'un dictionnaire des verbes français (Larousse 1983). On en recense environ 1500. L'examen du Grand Larousse encyclopédique multiplierait cette estimation, mais on resterait cependant dans l'ordre de grandeur de 10^3 . En français, les propriétés ont leur suffixe en ion (exemple, ébullition), en ique (exemple, mécanique), en air (exemple, binaire), en ance et ence ou en ive (exemple, apéritive). En utilisant un dictionnaire de rimes (Larousse 1973) on trouve 470 propriétés techniques, la majorité (230) sont terminées en ion. Si l'on admet que ce comptage est très grossier, et les propriétés seraient-elles dix fois plus nombreuses, on est cependant dans l'ordre de grandeur 10^3 .

- Les propriétés sont évidemment plus nombreuses, chaque propriété pouvant donner lieu à plusieurs procédés techniques alternatifs. Si l'on

retient une estimation moyenne, très large, de 10 procédés par propriété, on arrive à l'ordre de grandeur de 10^4 (106) et au niveau de ramifications plus fines de procédés technologiques spécifiques sans doute à 10^5 .

- Le nombre des "éléments" est incertain. Mais il devrait être plus de l'ordre 10^2 que 10^3 .
- La classe des individus techniques est de l'ordre de 10^6 . Ainsi pour ne prendre qu'un exemple, on estime entre 5 à 8 millions le nombre de types et modèles de machines et instruments. La variété des biens de consommation durable est vraisemblablement aussi de cet ordre. On estime à 7 millions le nombre des molécules que les chimistes ont synthétisées.

Résumons. Les différents taxons technologiques ont des ordres de grandeurs *vraisemblables* suivants : lois scientifiques 10^1 , principes technologiques 10^2 , fonctions objectifs 10^2 , propriétés 10^3 , procédés 10^4 à 10^5 , individus techniques 10^6 . Si donc on attaquerait un essai de classification au niveau des individus ou des procédés, la tâche serait sans doute insurmontable, encore que l'on ait entrepris le travail colossal à partir des informations sur 7 millions des molécules chimiques de déterminer les propriétés topologiques des molécules, c'est-à-dire de l'agencement des liaisons entre les atomes de la molécule qui en détermine l'architecture finale (107).

Il faut donc *trouver les "bonnes entrées" de l'arche technologique*. Le recensement des "*fonctions objectifs*" (18) paraît avoir de sérieux avantages. Il permettrait vers l'amont de systématiser les principes technologiques et de remonter aux lois scientifiques qui les régissent, vers l'aval de dégager des classes d'objets répondant à des principes technologiques semblables et à des fonctions sociales assimilables. Mais on peut envisager d'autres voies: "descendantes" des lois aux principes et - point clé - à la détermination des "éléments".

- Ou bien on pourrait partir selon les informations disponibles des propriétés pour, vers l'amont en dégager les principes technologiques et, latéralement, les procédés technologiques alternatifs. Il faut tester ces différentes approches.

(105) YAVORKI B. et DETLAF A. Aide-mémoire de physique, Editions de Moscou. 1984

(106) Cette estimation est corroborée par le thésaurus des termes scientifiques et techniques principaux de l'armée américaine (Engineers Joint Council, 1969) qui, partant d'une banque de données de 1.250.000 termes a retenu 23.364 entrées, 17.810 descripteurs et 5.554 références d'usage.

(107) Dennis Rouvray "Activités chimiques et topologie" dans Pour la Science, n° 109, nov. 1986.