

COMPRENDRE LA TECHNOLOGIE

Pierre F. GONOD

La diversité des définitions, la polysémie du terme, le flou des différences entre "technologie et "techniques", montrent la nécessité d'une clarification et de choix conceptuels. Ceux-ci subordonnent la conception et la réalisation d'une Encyclopédie de la Technologie, et, en particulier, d'une Encyclopédie finalisée pour la pédagogie de l'éducation technologique.

Ces choix conceptuels sont l'aboutissement (provisoire encore), d'un long cheminement intellectuel, collectif et individuel commencé il y a 30 ans. A travers des itinéraires divers des concepteurs et promoteurs du projet, soit à partir des transferts technologiques, soit à partir de la stratégie industrielle, la conclusion convergente surgit que la butée était la compréhension de la technologie elle-même.

Cette conviction se transforma en une entreprise collective au sein du CNRS en France. Elle se traduit par le livre "Construire une Science des techniques"¹, où la technologie était prise dans son sens le plus général de discours, de logos, de science des techniques².

Cette conception de "*la Technologie comme Science des Techniques*" est résumée dans la figure annexée. Elle a pour centre la reconnaissance de la technologie comme "construit social". Dès lors, en "amont", cette construction est opérée par les "problèmes sociaux". La technologie est liée aux besoins de la société, elle y répond, elle les modifie, et parfois les crée. Elle n'est pas unie à la société par des rapports univoques, elle en fait partie. Elle est donc sous l'influence de l'intentionnel de la société, de la demande sociale, des conflits de valeurs, des fonctions assignées à la technologie. Le système politique, par ses mécanismes, la construction d'une infrastructure scientifique et technique, ses acteurs et ses projets, opère le système technologique. Ses espaces de liberté sont aussi sous la dépendance de l'inintentionnel, des lois de la nature et de la société. Car il y en a. Elles peuvent être au bénéfice de l'humanité ou produire des effets inattendus.

Le système technologique est partie du mega système qui le conditionne et qu'il influence. Il est en transactions avec son environnement, dans le sens le plus large du terme. Cette interdépendance donne naissance à des agrégations et des combinaisons multiples, à diverses logiques, de constitution, de fonctionnement, d'utilisation, d'évolution. Le paradigme dominant est celui de la complexité. Et c'est, par une récursivité dialectique, le recours à la modélisation de la *complexité* qui permet de la réduire à un niveau compréhensible.

¹ "*Construire une Science des techniques*", ouvrage coordonné par Jacques PERRIN, L'Interdisciplinaire, 1991, 416 pages.

² L'idée fut lancée il y a une quinzaine d'années du Projet de l'Encyclopédie Systémique de la Technologie (EST). Le projet, face aux défis du XXI^{ème} siècle, était de créer un puissant instrument conceptuel et opérationnel pour opérer l'éducation et la culture technologiques, le polytechnicisme; l'éducation professionnelle repensée dans le sens de polyvalences, de nouvelles combinaisons pour l'acquisition des savoirs théoriques et pratiques, l'établissement de nouvelles configurations des métiers... Ces buts divers se rattachaient à une finalité : la maîtrise sociale de la technologie. C'est pourquoi, avec le concours du CNRS et de l'UNESCO, un colloque international fut organisé (Mastech, 1991). La disparition de la direction des affaires scientifiques de l'UNESCO gela le projet. Cependant l'EST a donné lieu à une expérience de prototypage avec le soutien du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (1993). La conclusion a été que le projet n'était pas un songe creux et qu'il était faisable. Mais son ampleur en a différé la réalisation.

L'hypothèse de la Technologie Générale

Elle est au centre du projet EST.

Au second millénaire il est étrange de constater que le phénomène majeur de la technologie fasse l'objet d'approches diverses. Il y a plus des points de vue qu'une modélisation véritable³ C'est pourquoi cette modélisation a été entreprise, une hypothèse a été formulée "*La technologie générale*"⁴

La proposition partait du constat que la technologie était aujourd'hui 6 millions de mots, c'est-à-dire un nombre comparable aux espèces végétales, d'une part, et animales, d'autre part. Or s'il existe des flores et des faunes, malgré l'énormité des publications sur la technologie, il n'existe pas une taxinomie de celle-ci. Il n'y a pas l'équivalent pour la technologie des taxinomies de Linné en botanique ou de Mendeleïev en chimie. Aujourd'hui il ne s'agit pas de faire seulement une encyclopédie descriptive, comme l'a été celle de Diderot, qui, malgré ses limitations, en dévoilant le secret des corporations, a été un élément favorisant la Révolution française, mais une encyclopédie systémique et électronique. Dans un autre contexte et avec d'autres moyens, le projet est dans la ligne des initiatives qui n'avaient pas abouti de la "technologie générale" du XIXe siècle, de Beckmann en Allemagne et Christian en France. Le projet de la technologie générale peut être assimilé à une sorte de génome de la technique.

Multidimensionnalité de la technologie, pluridisciplinarité et interdisciplinarité

La technologie a été scindée entre deux ensembles dissociés : les *sciences humaines* et les *sciences de l'ingénieur*.

• **Les sciences humaines** ont étudié la technologie dans sa multidimensionnalité par des disciplines différentes : la philosophie (ELLUL, LADRIERE, SIMONDON, HOTTOIS, HABERMAS, MITCHAM, BAREL), l'anthropologie (LEROI-GOURHAN, HAUDRICOUT), l'économie, la sociologie, l'histoire (DAUMAS, GILLE), la prévision, la techno linguistique, la muséologie et l'ethnologie courante, auxquelles s'ajoutent récemment l'évaluation ("technology assessment"), et l'analyse de la complexité technologique⁵ (GONOD, 1982). Ces parties ne font pas un tout. L'approche pluridisciplinaire est, dans le meilleur des cas, une juxtaposition sans consistance de fragments de connaissances, plus généralement ces parties s'ignorent entre elles. Une discipline de la technologie requiert l'interdisciplinarité, et pas seulement la multidisciplinarité. Or on sait que l'interdisciplinarité n'est possible que si un modèle minimum existe dans la tête des participants⁶. Ce qui pose la question de l'interdisciplinarité, mot-problème et non mot-solution. Et le statut de la pluridisciplinarité, de l'interdisciplinarité, et de la transdisciplinarité dans le projet de l'Encyclopédie de la Technologie.

Les figures suivantes illustrent le contenu multidimensionnel de la technologie et la multidisciplinarité de son étude dans les sciences sociales.

³ DEFORGE Y. "*De l'éducation technologique à la culture technique*", ESF, 1995.

⁴ GONOD P. "*La technologie générale : le projet d'Encyclopédie Systémique de la Technologie*", Analyse de systèmes, volume XIV, N°4, 1988.

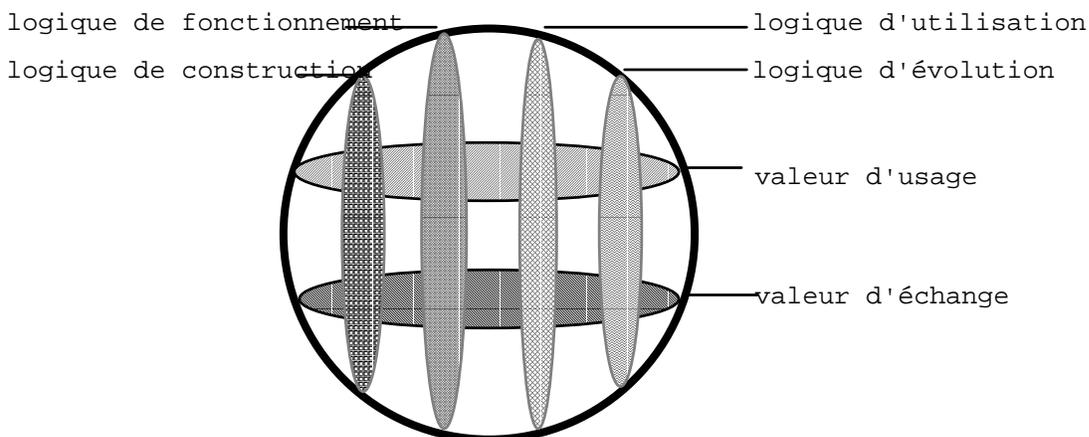
• "*Prolégomènes à la prospective technologique*", Analyse de systèmes, volume XV, N°2, 1989.

• "*Problématique de la maîtrise sociale de la technologie*", Analyse de systèmes, volume XVI, N°3, 1990.

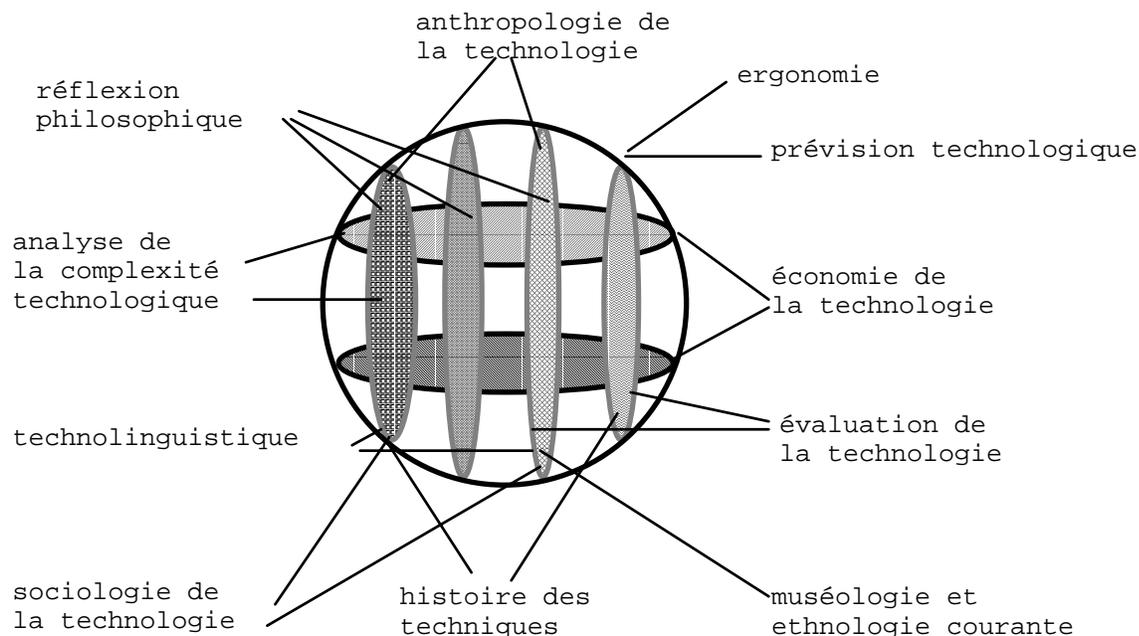
⁵ • GONOD P. "*Un outil : l'analyse de la complexité technologique*", Revue d'Economie Industrielle N°20 2ème trimestre 1982.

⁶ GONOD P. "*Interdisciplinarité et technologie*", dans *Construire une science des techniques* coordonné par Jacques Perrin, L'Interdisciplinaire, 1991.

MULTIDIMENSIONNALITE DE LA TECHNOLOGIE



MULDISCIPLINARITE DE L'ETUDE DE LA TECHNOLOGIE dans les SCIENCES SOCIALES



• **Les sciences de l'ingénieur** se sont développées par la voie de la spécialisation croissante et d'une relation de plus en plus étroite avec la science. Cette spécialisation a conduit aux prodigieux progrès de la technologie.

Ce bilan triomphal a induit le paradigme de l'ordre scientifico-technique, moteur de l'évolution de la société. La thèse de l'internalisation de la science et de la technologie a donné lieu à des débats dans les années 70. La thèse dominante était que le développement de la science serait de moins en moins

dépendant de circonstances extérieures, contingentes, relativement incontrôlables, et de plus en plus lié à des facteurs internes d'équilibration, de perturbation, d'auto-organisation. D'où l'hypothèse que la science, considérée dans son ensemble, aurait tendance à se constituer en un vaste système formé lui-même de sous-systèmes en interaction, évoluant vers des formes de plus en plus complexes et de plus en plus intégrées, et, en même temps, plus autonomes. Il en serait de même pour la technologie, où les opérations sont de plus en plus interdépendantes et tendent à s'intégrer dans un vaste réseau opératoire. D'où la conclusion que c'est à partir de ses possibilités internes et non à partir de situations ou de besoins extérieurs que l'activité technique définit ses activités⁷. Ces thèses ont subi la double critique des "sociologues de la science " et des épistémologues de la science". Pour les premiers, malgré les apparences, le système scientifique, et encore plus le système technologiques, sont des ensembles ouverts qui reçoivent leurs commandes de la société. Pour les seconds l'ordre scientifico-technologique a un envers : c'est un pseudo-ensemble en miettes, le processus de désintégration de la science amorcé dès le XVIIe siècle n'a cessé de s'aggraver. La science unitaire éclate comme un obus dont les fragments eux-mêmes continueraient à se dissocier sur leurs trajectoires. Il y a un désastre épistémologique entraîné par l'inflation galopante de la spécialisation. La fragmentation de la technologie est encore plus poussée⁸. Une illustration de cette fragmentation est fournie par une "table générale" des techniques de l'ingénieur⁹. Les douze domaines couverts : généralités, mécanique et chaleurs, construction, électrotechnique, électronique, informatique, génie chimiques, constantes, métallurgie, analyse chimique, mesures et contrôle, conception produite, éclatent en 3394 items . Dix ans plus tard le catalogue général¹⁰ présente une autre structure qui n'est pas sans signification. A côté des domaines permanents, bien qu'actualisés, tels que les sciences fondamentales, apparaissent des domaines privilégiés ou nouveaux , telles l'entreprise et l'environnement, et d'autres divisions des activités : les plastiques et composites, l'étude et les propriétés des métaux, la mise en forme des métaux et la fonderie, le traitement des métaux, l'élaboration et le recyclage des métaux, le travail des matériaux et l'assemblage, la mécanique, les machines hydrauliques et thermiques, le génie énergétique, le génie nucléaire, la construction, l'électricité : réseaux et applications, les convertisseurs et machines électriques, l'électronique, les télécoms, l'informatique, les constantes physico-chimiques, analyse et caractérisation, les procédés chimiques et biochimiques : génie des procédés et agroalimentaire, mesure et contrôle, informatique industrielle. Les 25 domaines redéfinis donnent lieu, à un niveau plus fin, à 373 sous-ensembles (contre 3394, il y a dix ans). Il ne s'agit pas en l'occurrence d'un simple dépoussiérage éditorial, mais bien d'une nouvelle organisation des savoirs. Elle conserve ce qu'il y a d'inéliminable dans les connaissances et spécialisations de base, mais elle va dans le sens de regroupements des savoirs et la constitution de nouveaux ensembles scientifiques et techniques¹¹.

Dans sa version 2000, les sciences de l'ingénieur peuvent être schématisées comme suit :

⁷ Caractéristique de cette thèse l'article de E.A HAEFFNER "*The innovation process*" Technology review, march-avril 1973

⁸ Sue les questions débattues à cette époque voir P.F. GONOD "*Pour une planification conjointe de l'éducation et de la technologie*" Institut International de Planification de l'Education "UNESCO, 1981.

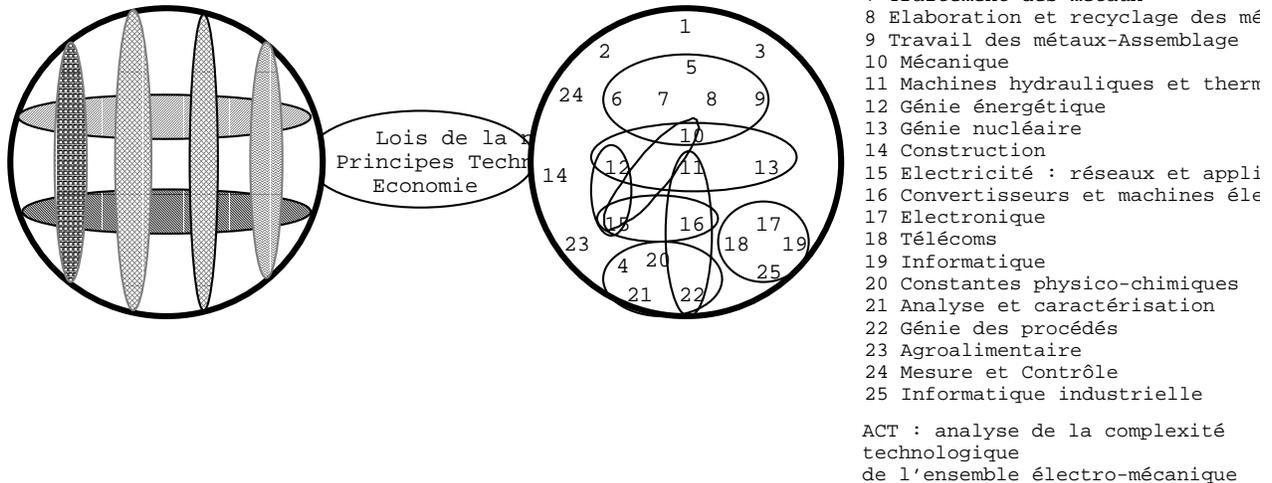
⁹ "Table générale" des techniques de l'ingénieur, table analytique , index alphabétique, 1989-1991.

¹⁰ "Catalogue général, Techniques de l'ingénieur 2000".

¹¹ A ces techniques de l'ingénieur il faut ajouter celle de l'analyse de la complexité technologique dans l'industrieélectromécanique, voir P.F. GONOD "*Un outil : l'analyse de la complexité technologique*" Revue d'Economie Industrielle, N° 20, 2° trim. 1982.

SCIENCES DE L'INGENIEUR

MULTIDISCIPLINARITÉ DES DOMAINES DE L'INGÉNIEUR



De cette figure on peut distinguer des sous-ensembles :

A métaux-mécanique, constitué par les domaines 5, 6, 7, 8, 9, 10.

B machines, génie énergétique, génie nucléaire, mécanique, correspondant aux domaines 10, 11, 12, 13.

C énergie, génie énergétique et électricité, domaines 12 et 15.

D machines et génie des procédés, domaines 11, 16, 22.

E génie des procédés, connaissances et domaines associés 4, 20, 21, 22.

F électronique et domaines d'application 17, 18, 19, 25.

Des intersections apparaissent, la mécanique et le génie des procédés, notamment, appartiennent à différents sous-ensembles. Des savoirs transversaux, tel le génie des procédés ont de plus en plus un contenu interdisciplinaire, il repose sur deux paradigmes : la généralisation des méthodes du génie chimique et l'approche systémique¹².

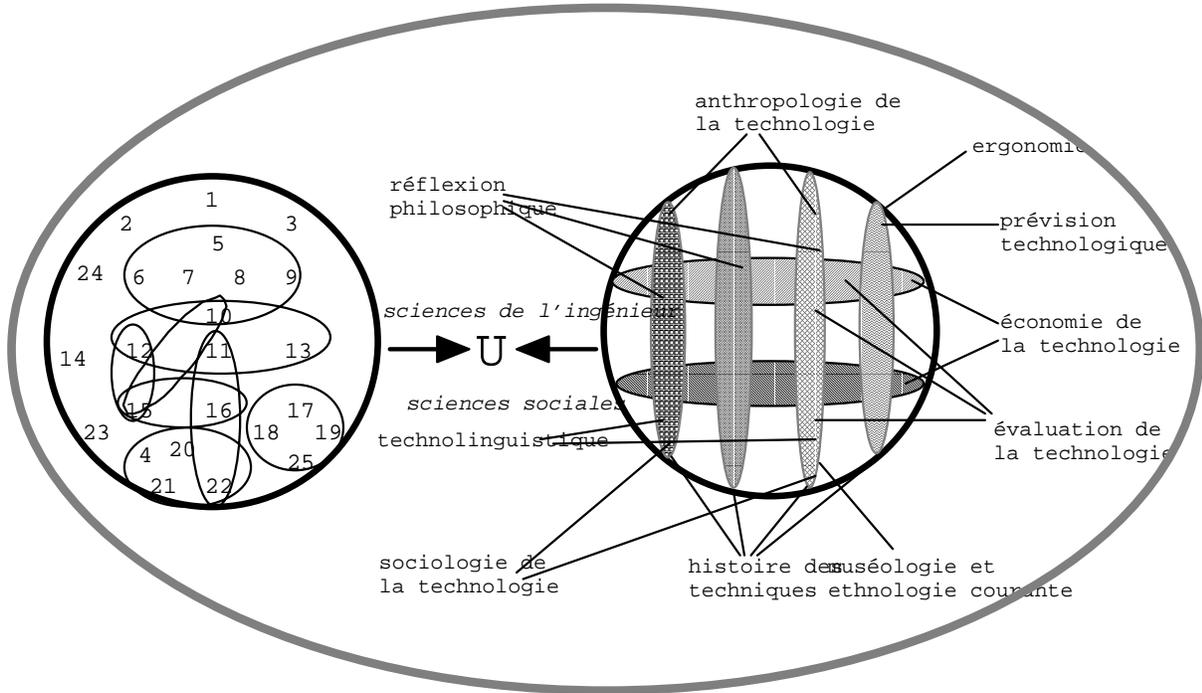
Il s'agit de tendre à une meilleure intégration des sciences de l'ingénieur, et d'unir celles-ci avec les sciences sociales. Cette union requiert la modélisation de la technologie générale.

Les figures ci-dessous symbolisent la "Nouvelle alliance de la technologie", la reconfiguration des sciences de l'ingénieur avec le construit social, via la modélisation de la technologie.

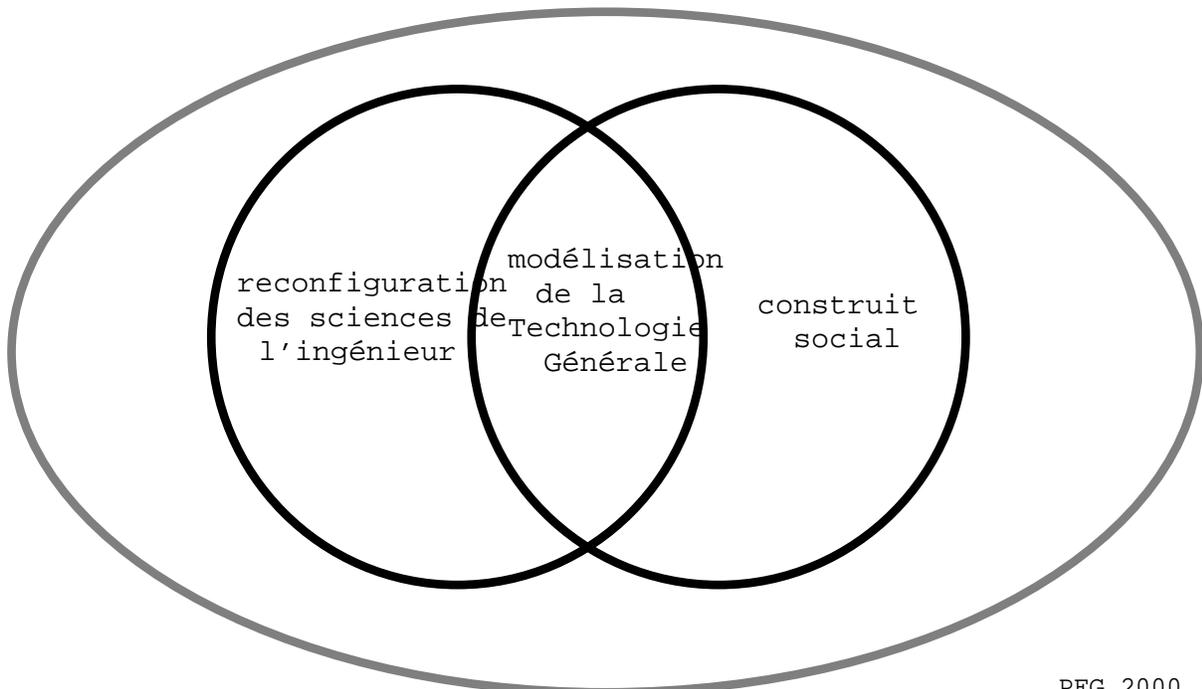
¹² Voir l'article de J. VILLERMAUX "Le génie des procédés" La Recherche 235, septembre 1991.

LA NOUVELLE ALLIANCE DE LA TECHNOLOGIE

LE PROJET DU NOUVEL ENSEMBLE DE LA TECHNOLOGIE



LE NOUVEL ENSEMBLE DE LA TECHNOLOGIE



Ainsi donc le projet EMET s'éclaire par ce triple défi de la modélisation de la technologie générale, articulant son construit social et aboutissant à une reconfiguration des sciences de l'ingénieur. Mais cet agencement est dérivé d'une conception du système technologique.

La conception du système technologique

Des pré-modélisations en apportant des éclairages successifs ont ouvert la voie à la formulation de l'hypothèse de la Technologie Générale. La technologie a été envisagée d'un point de vue fonctionnel (ce que l'objet fait), ontologique (ce que l'objet est), génétique (ce que l'objet devient). Ce qui a conduit à dégager des logiques : de construction -y compris celle de la conception-, d'utilisation, d'évolution. Ces logiques sont en interactions et l'ensemble s'articule par une logique de fonctionnement. La technologie, comme activité, répond à des fonctions d'usage, en tant que structure ontologique, elle développe des fonctions intrinsèques. Les fonctions concernent donc les faces externes et internes de la technologie. Le fonctionnement est l'ensemble des interrelations et articulations entre celles-ci. L'organisation, notion à la fois synchronique et diachronique, englobe la structure et le fonctionnement.

La technologie, on l'a dit, est une création de la société. La construction sociale, le fonctionnement, l'utilisation, l'évolution, du système technologique impliquent, la prise en considération des acteurs sociaux dotés de projets, de pouvoirs, de stratégies, d'objectifs, de moyens d'action, en bref d'un ensemble "social". Cet ensemble est en transaction avec la structure de la technologie elle-même, comme réalité "physique". Paradoxalement, c'est ce dernier aspect qui fait le plus défaut. Ainsi, par exemple, il n'existe pas de taxinomie de la technologie, ni ce qui pourrait constituer une "technologie générale".

La difficulté est conceptuelle. La compréhension de la technologie se partage entre trois acceptions principales :

- 1) La technologie est un phénomène autonomisé qui façonne la société,
- 2) La technologie est façonnée par la société
- 3) La technologie est un construit social ou la technologie est conditionnante et conditionnée.

La figure suivante illustre les différences entre ces approches, et leur signification du point de vue de la prospective technologique.

La conception retenue est donc celle d'un construit social, d'un système ouvert ouvert où est considérée l'interface du *physique* et du *social* et que reflète la variante 1 C'est cette conception dialectique qui a inspiré le projet de l'EST.

La barrière la plus importante entre ces conceptions se situe entre celle de la technologie comme phénomène autonomisé et celle de la technologie comme construit social.

COMPRÉHENSION DE LA TECHNOLOGIE

phénomène autonomisé la technologie façonne la société	construit social la technologie façonnée par la société		
univers déterministe	la technologie comme système ouvert		technologie et société forment un tissu sans couture
<ul style="list-style-type: none"> la technologie se développe selon sa rationalité propre, en conséquence la société devient un système technicien 	variantel <ul style="list-style-type: none"> système à interfaces "physique" et "social" hypothèse d'un système physique auto-organisé existence de lois physiques de composition interne édifice technique structuré 	variante 2 <ul style="list-style-type: none"> système comprenant des variables physiques et sociales non considération d'un sous-système physique auto-organisé distinction variables internes et externes acteurs opérant le système technique et son environnement socio-économique 	<ul style="list-style-type: none"> technique et société ne forment pas un tissu sans couture non distinction d'un système physique auto-organisé non distinction variables internes et externes réseau-acteurs constitué d'associations hétérogènes éléments et facteurs matériels considérés conjointement
approche prévision <ul style="list-style-type: none"> déductive et de caractère continu: extrapolations, prévision exploratoire prévision normative, explicative ou corrélative synthèse démarches inductive et de caractère discontinu: analyse morphologique 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> approche prospective théorie économique et sociale explicite ou implicite analyse de système possibilités de bâtir des scénarios technologiques </div>		approche sociologique construction sociale de la technologie analyse empirique utilisation inconnue pour l'approche prospective

Le modèle de la technologie générale

La modélisation considère à la fois l'existence de lois de la société et de lois physiques, d'espaces de libertés et de déterminismes, un système téléologique, finalisé par la société, et un système en partie auto-organisé en fonction des lois de la nature. Le système téléologique étant traversé par les conflits de valeurs au niveau des grands systèmes comme l'éducation et le travail. Pour comprendre les associations hétérogènes constitutives des éléments en relations, humains et physiques, il faut considérer ensemble ces deux groupes. Or, paradoxalement, comme il a été noté plus haut, malgré l'énorme documentation accumulée c'est la partie "physique" du système technologique qui est la moins conceptualisée et dont les connaissances sont les moins organisées. Il faut donc comprendre l'organisation intrinsèque du système technologique.

C'est un modèle minimum qui a été testé depuis 1993 et qui a servi d'hypothèse initiale. Il articule fonction d'usage et fonctions de service internes des artefacts, lois scientifiques, principes, propriétés, éléments technologiques, procédés, les complexités structurelle, fonctionnelle, de fabrication et d'utilisation, leur combinatoire dans des objets techniques, des lignées et familles, des sous-systèmes et systèmes technologiques. Conception encore primitive, mais plus riche que les représentations partielles

courantes, parce qu'elle incorpore les interfaces avec l'économie, la sociologie des fonctions d'usage, de l'échange et de l'innovation, l'histoire et la prospective.

La modélisation, que l'on appellera "systémographie" est une représentation du phénomène considéré comme, et par, un système. La modélisation est toujours une abstraction. Ainsi la logique intrinsèque de constitution de la technologie peut être décrite à différents niveaux d'abstraction hiérarchisés. Le niveau inférieur de l'abstraction représente seulement le système sous sa forme physique, sa configuration matérielle (*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 aux 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*).

En simplifiant le modèle, et dans une autre terminologie, 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.

Dans ce modèle on distingue donc 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.*

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". L'intégration change la qualité des choses, car une organisation possède souvent des propriétés qui n'existaient pas au niveau inférieur.

Le modèle commence par distinguer les phénomènes, mais sans les isoler, et permet leur conjonction.

Ce modèle est un modèle organique ou anatomique, ce n'est pas un modèle fonctionnel (ou "behavioral"). Il correspond à une observation empirique de la situation d'état, notamment dans l'électromécanique. Il n'est pas sûr, et c'est un objet de recherche, qu'il soit adéquat, par exemple pour la chimie et l'agrobiologie. C'est la conjonction des interrelations fonctionnelles avec l'environnement sociétal, qui permettrait de passer à un modèle fonctionnel. Mais le modèle organique est la base de celui-ci.

L'étude des "lois" physiques de composition, d'intégration, de passage d'un niveau à l'autre, des propriétés et procédés techniques pourrait constituer, selon la suggestion d'un philosophe, 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.

L'hypothèse globale décrit les taxons de l'édifice technologique.

- **Les lois de la nature**, en premier lieu, sont examinées dans leur rapport avec la technique. Ce rapport n'est pas univoque, la technique a souvent précédé la connaissance scientifique. La praxis technique a souvent posé de nouveaux problèmes à la science, y compris aux mathématiques. Les distances entre Science et Technique varient selon les activités, dans des technologies comme l'informatique il y a

fusion. Ce qui caractérise le progrès technologique actuel est le mouvement de transfert des connaissances, leur algorithmisation, leur intégration dans les êtres techniques.

• Les Fonctions technologiques

Elles concernent une grande partie des activités de l'humanité et elles dérivent de ses besoins essentiels, 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, désherber, 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 qui 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. Une synthèse serait l'élaboration d'un arbre anthropologique.

• Les principes technologiques

Les 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, 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

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 xérographie, un "intégron" 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 techniques se concrétisent dans des fonctions technologiques intrinsèques et des procédés. Ils sont à la fois expression des lois de la nature et moyen d'action sur elle.

• 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 désigne. On parle de principes ou de propriétés mécaniques, chimiques, électriques, magnétiques... 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.

Pratiquement il serait utile de disposer de banques de données sur les propriétés et de structurer l'information afin qu'elle puisse servir de matrices de découverte, ce qui implique, là aussi l'établissement de typologies.

• Les éléments

On ne dispose pas, comme en chimie, d'une table de Mendeleïev 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 a été entrepris pour l'explorer. Ces "éléments" ou "technèmes" seraient les vecteurs insécables des technologies et constitueraient le premier étage du système technique. Il en est

ainsi, par exemple des triodes, des klystrons, des 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 gyroscope, la pompe à air, le régulateur de vitesse, le roulement à bille, l'électro-aimant, la cellule photoélectrique, les lentilles optiques et magnétiques, et, plus récemment, l'aérosol, le transistor, le microprocesseur, le laser. Ces éléments entrent comme composants des objets techniques et sont répandus à des millions, voire des milliards d'exemplaires.

Ces éléments ne sont pas pourtant toujours insécables, ils 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 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... 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 créées par des procédés.

• Les objets et individus techniques

Les objets sont une combinaison d'éléments, un mécano, une configuration organisée. Ils se différencient selon leur fonction d'usage. Quand ils ont la même fonction d'usage et le même principe technologique, ils constituent une "lignée". Quand pour la même fonction d'usage ils ont des principes techniques différents, ils forment une "famille".

Le système des objets reste à élaborer. Il pourrait être envisagé selon divers critères. D'abord leurs fonctions d'usage dont l'ensemble constituerait un arbre anthropologique. Ensuite leurs complexités : fonctionnelle, structurelle, d'utilisation et de fabrication. Ces complexités ont entre elles des relations. Les complexités structurelle et fonctionnelle croissantes s'intègrent dans l'objet pour simplifier son utilisation. L'analyse de la complexité technique montre les relations entre les complexités structurelle et fonctionnelle, d'une part, et celle de fabrication. L'objet technologique complexe agrège des éléments, des composants eux-mêmes complexes, des principes technologiques compatibles.

Un autre aspect du système des objets est le caractère plus ou moins systémique de ceux-ci. Les objets techniques, selon leur niveau, possèdent ou non un milieu associé. Un "individu technique" est un objet supérieur dont le milieu associé est la condition sine qua non de son fonctionnement. En ce sens il se rapproche des individus naturels. Ces considérations sont importantes pour penser l'avenir des objets. Ce sont des domaines pratiquement inexplorés.

• 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. 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.

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. C'est pourquoi *l'organisation* de cette masse de données représente une tâche essentielle. Il s'agit en définitive de socialiser (comme en son temps Diderot l'avait fait pour rompre le monopole des corporations) 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. Car l'information technique, si elle est transmissible, n'est pas toujours transmise. Pour comprendre cette situation il faut analyser les formes sociales de la technologie.

Dans ce dessein, l'hypothèse globale envisage aussi la technologie selon les catégories les plus générales de l'économie politique : la valeur d'usage et la valeur d'échange, dont les logiques sont à la base de la constitution, du transfert, de la diffusion, de la reproduction, de l'évolution de la technologie.

L'activité des Agents sociaux génère les métamorphoses de la technologie. C'est par elle que la technologie prend différentes formes sociales : "*socialisée*" (la littérature, l'éducation technologique...), "*aliénée*", selon un droit de propriété (licences, know-how secret...), "*capitalisée*" (incorporée dans les machines et les instruments de travail...), "*incarnée*", (incorporée dans la ressource humaine, les savoir-faire...). Les formes socialisée et aliénée sont des doublets antagonistes. Les formes capitalisée et incarnée des contradictions non antagonistes. Elles se combinent entre elles dans la mesure ou elles ne s'excluent pas. Cette analyse des formes sociales de la technologie fournit des clés pour la compréhension de la technologie comme marchandise et comme relation de pouvoir.

• **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". Ainsi le système technologique n'est manifestement pas autonome par rapport à ce qui lui est extérieur, ce qui n'exclut pas l'existence de lois de composition internes. Selon cette définition, il constitue un sous-système comprenant lui-même des sous-systèmes. La question se pose de la catégorisation des "technologies génériques", telles la microélectronique et le laser, comme des sous-systèmes transversaux aux autres sous-systèmes. Ensuite, les sous-systèmes technologiques peuvent ne pas épouser les classifications des activités économiques. La relation entre le découpage du système industriel, ses systèmes de production, et la taxonomie des technologies reste largement à établir. On pressent que cette relation se modifie avec l'évolution des technologies et des jeux des acteurs sociaux

• **Les ordres de grandeur des taxons du système technologique**

La technologie c'est maintenant 6 millions de mots. Ce qui signifie que sa " variété " est du même ordre de grandeur que celle des espèces végétales et animales. Le projet de l'EST peut alors, a priori, être considéré comme irréalisable et mégalomane. 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 .
- Les *principes technologiques* essentiels dérivés sont sans doute de l'ordre de 10^2 .
- Les *procédés* primordiaux devraient multiplier par 10 l'ordre des principes techniques.
- Les *fonctions-objectifs* qui croisent des principes technologiques avec des objectifs sociaux sont peut-être de l'ordre de 10^3 .
- Les *propriétés technologiques* primaires devraient être du même ordre.

Ces hypothèses ont l'intérêt de suggérer des voies d'entrées dans la construction de l'Encyclopédie.

Les langages de description

L'hypothèse de la Technologie Générale contenait le projet de créer un langage pertinent des descriptions et d'analyse de la technologie.

Toutes les méthodes ont créé leur propre méthode de description, il en est ainsi en mathématiques, chimie, biologie, linguistique, sociologie par exemple¹³. Le langage pertinent permettant d'identifier la structure interne de la technologie, les constituants des techniques, les niveaux de complexité des éléments et de leurs associations, la nature de leurs modes de liaison, n'existe pas pour la technologie, en tant que connaissance et réflexion sur la technique.

Cette méthode pertinente devrait être en accord avec la spécificité, le caractère, l'ordre de la technologie. Mais réciproquement, c'est cette méthode de description qui permettrait de révéler cet ordre, ce caractère et cette spécificité. L'expérience montre qu'il est fructueux de transférer et d'adapter des instruments d'autres disciplines, au demeurant, c'est une des définitions de l'interdisciplinarité. On ne peut toutefois décider a priori si cette méthode, analogique ou non, est pertinente. Il faudrait procéder par essais et interactions en utilisant éventuellement des méthodes empruntées à d'autres disciplines avant d'arriver à une évaluation et au choix d'une méthode probablement différente de celles testées. En effet comme la technologie médiatise le monde physique, chimique, biologique, informationnel, est intégratrice et réordinatrice, il faudrait probablement inventer ses propres concepts et instruments d'analyse. C'est dans cet esprit qu'on pourrait envisager, dans un premier temps, de tester l'application à l'analyse de la technologie des méthodes créées dans d'autres domaines. On pense immédiatement à l'utilisation de la théorie des ensembles¹⁴, à celle des sous-ensembles flous¹⁵, à celle des graphes de liaison¹⁶, à l'analyse topologique qui se développe pour prévoir les propriétés chimiques¹⁷.

¹³ "Ordre et l'Université du vivant", ouvrage coordonné par TASSY Pascal, nouvelle encyclopédie des sciences et des techniques, Fondation Diderot, Fayard, 1986.

¹⁴ Voir l'essai de MANOUGIAN Edward, "Towards a common language for the technologies" in Leslie HOLLIDAY. "The intégration of technologies", Hutchinson, London, 1966.

¹⁵ ZADEH L.E., "Toward a theory of fuzzy systems", University of California, Berkeley, June, 1969.
et KAUFMANN A. "Introduction à la théorie des sous-ensembles flous", tome 2 "applications à la linguistique, à la logique, à la sémantique", Masson ed., 1975.

¹⁶ THOMA Jean V. "Introduction to Bonds graphs, and their applications" Pergamon Intern., 1975.

¹⁷ ROUVRAY Dennis H., "Predicting chemistry from topology" in Scientific american, Septembre 1986

On pense à l'analogie avec la *linguistique* suggérant l'équivalence entre les "monèmes" et les "technèmes"¹⁸ ce qui suppose de déterminer les éléments insécables des technologies.

L'analogie avec la *biologie* peut amener à considérer que la technique, comme les êtres vivants, évolue et se complexifie par la constitution "d'intégrons" nouveaux¹⁹. Les "intégrons" sont ici les agrégats des différentes générations technologiques. Ce sont des processeurs polyfonctionnels dont l'assemblage assure la *cohésion* du système. L'analogie biologique est sans doute intéressante aussi pour la *compréhension* des "essences" et "lignées techniques" ainsi que les mécanismes de régulation. Les rétroactions positives conduisent, par exemple, à des fusions de champs entre la mécanique et l'électronique la mécatronique²⁰.

L'analogie avec la *chimie* soulève, comme l'analogie biologique, le problème du classement en niveaux de base. Il s'agit ici d'identifier des correspondances éventuelles dans l'ordre technologique avec celui de la chimie : mélanges, combinaisons, corps purs, éléments, molécules, atomes etc ... Le mouvement de la technologie présente un certain parallélisme avec celui de la chimie : fragmentation en unités élémentaires et reconstitution dans de nouveaux ensembles. La science découvre des unités séparables. La technique rend effective cette rupture du réel en éléments séparés et utilisables. Elle reprend ces éléments pour reconstituer une nouvelle synthèse. La technique est donc simplificatrice, réductrice, opérationnelle, instrumentale et réordinatrice²¹. La notion de "valence" est peut-être transposable dans l'analyse du réel en éléments séparés et utilisables. Elle reprend ces éléments pour reconstituer une nouvelle synthèse. La technique est donc simplificatrice, réductrice, opérationnelle, instrumentale et réordinatrice. La notion de "valence" est peut-être transposable dans l'analyse de la technologie. Le nombre des liaisons qu'un atome peut avoir avec d'autres atomes suggère des propriétés intrinsèques des techniques de s'associer entre elles selon des valances variables, mono, pluri ou polyvalentes. Ainsi une des propriétés essentielles des "technologies nouvelles" est leur grande capacité d'association, par convergence, intersection ou union. Le concept de "grappe technologie" illustre cette évolution²². La constitution de ces ensembles polyvalents devient un des enjeux essentiels. La constitution de ces ensembles polyvalents devient un des enjeux essentiels dans la stratégie des grandes entreprises²³.

Des analogies avec les méthodes de description d'autres disciplines devraient aussi être explorées, particulièrement celles développées par les *anthropologues*. La démarche consistant à étudier le processus de fabrication des objets permet de dégager le type des rapports de la forme, de la matière et de la fonction, de là il est possible de remonter aux éléments fondamentaux communs aux techniques de même principe déterminés par des lois physiques. Les activités techniques constituent un réseau structuré de relations entre les hommes et "la nature", et entre les hommes entre eux. C'est pourquoi la logique rationnelle technique se combine sur différents plans avec la mémoire sociale qui s'exprime par les différents modes de transmission et d'éducation et avec des constructions mentales. Il en résulte des "chaînes opératoires" qui sont des structures sociales²⁴.

On pressent que la technologie en tant que médiation générale entre l'homme, la société et la nature, nécessite une méthode pertinente de description qui emprunte aux disciplines de ses constituants mais dont le tout ne soit pas la somme des parties. Cette méthodologie est donc à établir.

¹⁸ SIMONDON Gilbert, "Du monde d'existence des objets techniques", Aubier Montage, 1969.

¹⁹ JACOB François "La logique du vivant, une histoire de l'hérédité", Gallimard, 1981.

²⁰ NOGUCHI Tasuku "Technologies de pointe et stratégies industrielles au Japon", dans Travail et Société n 4, Oct. Nov. 1983, BIT, Genève.

²¹ ELLUL Jacques "Le système technicien", Calmann Levy 1977.

²² GEST "Grappes technologiques", Les nouvelles stratégies d'entreprises, Mc Graw,-Hill, 1986.

²³ GIGET M., Euroconsult, "Les bonzais de l'industrie japonaise", CPE Etude n 40, Paris, 1984.

²⁴ LEROI-GOURHAN André "Le geste et la parole, La mémoire et les rythmes", Albin Michel, 1965.
GEISTDERFER Alette, André LEROI-GOURHAN, La pensée n 258, Juil. Août, 1987.

Autres Recherches

Des travaux suggèrent des pistes de recherches:

- Ainsi des critères de proximité fonctionnelle permettent de définir des catégories d'objets techniques apparemment différents mais répondant aux mêmes principes physiques et fonctions (par exemple les armes à feu, les missiles, les lasers, les rayons X, les équipements de sondage, les robots sont au fond destinés à projeter de l'énergie vers une cible, située à une certaine distance) La détection systématique des "*fonctions-objectifs*"²⁵ pourrait constituer le premier niveau d'une taxinomie.

Il est à noter que cette approche peut être considérée comme un dépassement des tentatives des linguistes de symboliser les unités techniques élémentaires par des verbes. Mais la prise en compte des principes physiques éclaire les fonctions elles-mêmes. Cet éclairage pourrait peut-être permettre de donner un second souffle aux travaux de la linguistique structurale dans ce domaine.

D'autres instruments d'observation des changements techniques ont été élaborés. Ainsi la *constitution d'arborescences technologiques* sous forme de graphes orientés, est une représentation systématique de l'éventail des solutions techniques disponibles, à un moment donné du temps, et dans le cadre d'une industrie déterminée.

L'arborescence technologique résulte de l'application de la méthode de l'analyse morphologique. Permettant de révéler la combinatoire des éléments constitutifs des technologies, - sa variété - elle met en lumière les potentialités de celle-ci, et pourrait jouer le rôle de matrice de découverte. Son intérêt n'est donc pas seulement de comprendre la logique intrinsèque d'un système technique donné mais d'en envisager l'évolution possible. Le graphe technologique resitue le mouvement réel d'apparition et de mise en oeuvre des procédés techniques.

Les deux instruments se complètent ainsi l'un l'autre. Ces essais sont basés sur une théorie économique des propriétés de l'organisation et de l'évolution de l'industrie. On espère donc disposer de la conception de l'architecture d'un système d'observation.

Cette architecture est évidemment tributaire du mode de représentation (des graphes orientés). Aussi les premiers résultats obtenus seraient sans doute développés par le recours à des principes complémentaires d'organisation des connaissances permettant de rendre compte à la complexité structurale des technologies. Ainsi, celle-ci peut-être exprimée par des niveaux simples ou multiples, ces derniers peuvent être décrits par des cartes linéaires (relations univoques), des cartes multilinéaires (types arbres généalogiques)- des hiérarchies (types arborescences), des cycles (relations bivoques), des cartes multiniveaux combinant les modes d'expression précédents²⁶. Le système technologique ressort de cette représentation à boucles multiples.

On pressent que les technologies sont constitués de systèmes élémentaires inter-reliés, eux-mêmes décomposables, et que l'identification de leur arborescence soit un des schémas structurels de base qu'utilise l'architecte de la complexité²⁷. D'où l'importance de l'analyse des niveaux des arborescences, de la nature, du nombre et de l'intensité des inter-relations, de leur organisation, du passage des descriptions d'états aux descriptions de processus.

²⁵ AYRES R "*Empirical measures of technological change at the sectoral levels*", Technological Forecasting and social change 27, 1985.

²⁶ WARFIELD John, "*Some principles of knowledge organization*", IEEE transactions on Systems, man and cybernetics, june, 1979.

²⁷ Voir dans SIMON Herbert "*La science des systèmes, science de l'artificiel*", Le chapitre l'architecture de la complexité, EPI 1974.

• *L'analyse et la mesure de la complexité technologique* sont aussi une dimension essentielle pour la compréhension du système technique. Celui-ci évolue vers une complexité croissante. La complexification résulte de l'augmentation du nombre des éléments (ce qui différencierait la technologie de la chimie et suggérerait une analogie avec la créativité lexicale à travers les conditions de l'invention et de l'innovation technologiques), des interactions entre eux, et, comme la technologie est un système ouvert, des relations extrinsèques. La notion de complexité technique, qui se relie à celle de variété, si elle est facilement compréhensive intuitivement, est pourtant difficile à définir et encore plus à mesurer. Différentes approches sont possibles et nécessaires d'explorer. Le terrain a été peu défriché²⁸. Il n'est pas sûr que les niveaux de complexité technologique des différents sous-systèmes technologiques (mécaniques, chimiques, biologiques, informationnels par exemple) puissent être mesurés de la même façon, en raison de différences dans l'organisation de leurs inter-relations intrinsèques. Sans doute existent-ils aussi des phénomènes de continuité et de discontinuité dans la complexification des techniques qui n'ont pas fait l'objet d'analyses systématiques.

La conceptualisation et la mesure de niveaux technologiques croissants seraient d'une immense importance opérationnelle pour orienter l'éducation professionnelle en fonction des contenus technologiques qu'il est nécessaire d'assimiler pour passer d'un niveau à l'autre²⁹, raisonner les stratégies d'entrées et de progression des activités dans les pays en développement afin de permettre de réels effets d'entraînement³⁰, envisager l'évolution vers une utilisation polyvalente de niveaux technologiques différents.

• Une autre dimension tout aussi importante serait de rechercher la méthode permettant de *mesurer la "distance" des techniques par rapport à la science*. On sait que nombre de techniques existaient avant que leurs principes scientifiques aient été établis. Peut-être que les particules élémentaires de la technologie sont en définitive des informations. Celles-ci proviennent soit de la mémoire collective ou individuelle (les savoir faire), soit de la science. Les technologies modernes se différencient des précédentes par leurs charges d'informations dérivées de la science. Mais l'intensité de couplage science-technologie est variable. La liaison est directe, par exemple, entre les mathématiques et l'électronique, elle est beaucoup plus lâche pour d'autres techniques. Les rapports entre les savoirs formalisés et les savoir faire sont variables selon les technologies. Il n'ont pas fait l'objet non plus d'une description systématique dont on pressent immédiatement les implications opérationnelles.

• Enfin une recherche serait, en dérivée de l'analyse des relations des technologies, de pénétrer plus avant dans la compréhension de *l'émergence d'un nouveau système technique*.

L'histoire des techniques montre qu'en général toutes les techniques sont à des degrés divers, dépendantes les unes des autres et qu'il faut nécessairement entre elles une certaine cohérence.

Le système technologique se forme au terme d'un complexe procès social. La *cohésion* des forces qui l'opèrent assure sa *stabilité*, les *cohérences* des relations entre celles-ci permettent son *évolution*. D'où l'importance de clarifier les niveaux de cohérences intrinsèques et extrinsèques de la technologie.

En référence à l'hypothèse de "la théorie du système général", l'objet à modéliser - le système technologique - serait considéré comme un processeur contenant un pôle fonctionnel (les activités), un pôle ontologique (sa structure), un pôle génétique (son évolution).

²⁸ Voir l'essai de mesure de la complexité des Biens d'équipement, GONOD P.F. "Un outil l'analyse de la complexité technologique", Revue d'Economie Industrielle n 20, 2ème trimestre, 1982.

²⁹ A signaler, les travaux pionniers effectués dans ce domaine par VIDOSSICH Franco, pour jeter un pont entre l'analyse de la complexité technologique dans le secteur des biens déquipements et les contenus de l'éducation professionnelle nécessaire.

³⁰ Sur les effets d'entraînement, voir PERROUX François "L'effet d'entraînement : de l'analyse au repérage quantitatif", Economie Appliquée 2, 3, 4, 1973 et HIRCHMAN Albert, "Vers une économie politique élargie", les Editions de Minuit, 1986.

L'étude de la méthodologie pour comprendre "l'organisation" du système technologique (interrelations, articulations, structure) instituerait, une correction radicale dans l'orientation des études qui sont portés presque exclusivement sur la philosophie, la sociologie et l'économie de la technologie. Il faut comprendre maintenant, de l'intérieur, la technologie elle-même.

Une Encyclopédie Systémique ne serait pas une nouvelle histoire des techniques³¹. L'analyse prépondérante serait synchronique dans le sens où elle tenterait de décrypter la situation d'arrivée du système technologique actuel. Bien évidemment les dimensions diachroniques n'en seraient pas exclues. Mais c'est l'explication des configurations technologiques observées qui requièrerait une remontée dans l'évolution passée, et non l'inverse. La dimension diachronique essentielle serait, au demeurant, dans une seconde étape, celle de la prospective technologique. C'est dire que le pôle génétique serait peu traité dans un premier temps. Par contre, le pôle fonctionnel ferait l'objet d'analyses plus approfondies. Ainsi qu'il a été relaté précédemment la détection systématique des "fonctions-objectifs" pourrait constituer le premier niveau d'une classification technologique en permettant une description d'états fondée sur les principes technologiques et une première approche de la description des processus.

Cette classification pourrait s'articuler avec les apports d'autres disciplines, ceux des ethnologues, notamment.

Ainsi le rapprochement de la classification par "fonctions-objectifs"- qui incorpore les principes technologiques - avec une classification ethnologo-linguistique, sous forme *d'arbre anthropologique des activités techniques*, pourrait être intéressant en rattachant la première aux besoins humains et en donnant le sous-bassement qui manquait à la seconde. Incidemment l'approche technologo-linguistique devrait aboutir à un dictionnaire hiérarchisé des verbes techniques qui pourrait servir pour des comparaisons sociétales, l'existence ou non de l'activité, le verbe qui l'exprime dans d'autres langues, permettraient pour l'ethnologue de mieux appréhender la représentation de la technosphère dans des sociétés différentes. Une problématique interdisciplinaire peut-être entrevue. A un autre niveau taxinomique, des arborescences technologiques devraient permettre de représenter la variété et la complexité des sous-systèmes, leur organisation, les potentialités de leur combinatoire - et de disposer d'une base de réflexion sur leurs virtualités d'évolution. Des graphes technologiques rendraient opérationnelles pour la compréhension du présent et la prospective des futurs technologiques.

Telles sont, à partir des questions soulevées par la recherche d'un langage pertinent de la technologie, les grandes lignes des Recherches à entreprendre.

Complément à l'hypothèse de la Technologie Générale

Au cours des travaux, l'hypothèse principale a été enrichie par des apports nouveaux. Bien que dans l'hypothèse générale la logique fonctionnelle était considérée comme essentielle, toutes les implications n'en avaient pas été tirées. La nouvelle thèse est de définir le produit par ses fonctions³².

Tout produit intègre trois fonctions : sa forme technique - son existence repose sur un système technique ; sa fonction de service - son utilisation répond à un besoin pratique ; et une fonction de signe - le produit correspond à un positionnement social.

Le produit est ainsi au carrefour de ces dimensions. Sa dynamique résulte d'un triptyque intégrant l'évolution des fonctions sociales (service et signe), celle d'un artefact physique concrétisé par une forme technique, et le comportement des utilisateurs.

³¹ GILLES Bertrand *"Histoire des techniques"*, NRF, Pléiade, Paris, 1978.

³² SEBBAR S. *"Dynamique technique des produits : un cadre conceptuel évolutionniste"* Analyse de Systèmes, Vol. XXI, N°1, mars 1995.

Comportement

Artefact physique

Le premier stade de la méthode est de définir des "formes techniques" qui déterminent les structures techniques stabilisées du produit et permettent de suivre le déroulement des innovations du produit. Chacune des fonctions peut faire l'objet de plusieurs solutions techniques.

Le second stade est la description des "fonctions techniques de premier rang", c'est-à-dire le premier niveau de description de "l'environnement interne", définissable indépendamment des mécanismes de fonctionnement détaillés. Ces "fonctions techniques de premier rang" fixent les objectifs à atteindre. Cette analyse ouvre la voie à la détection de la "saturation" de la solution technique, quand celle-ci ne permet plus d'amélioration qualitative, ou l'extension de la fonction vers des fonctions plus larges. Il est donc possible de distinguer les solutions techniques stabilisées des solutions en évolution.

Les fonctions internes de premier rang peuvent être décomposées en "fonctions internes de second rang" qui reposent sur des principes techniques opérationnels et donnent lieu à la description du mode d'association des éléments techniques requis. Cette décomposition peut ainsi être reproduite jusqu'à l'atteinte des niveaux les plus bas. A ces niveaux ce sont surtout les *savoir quoi* et les *savoir comment faire*, les *savoirs pratiques* qui deviennent opérationnels.

L'apport philosophique récent

L'hypothèse de la Technologie Générale a été fortement influencée par les travaux de certains philosophes, en particulier Georges Simondon³³. La philosophie définit des catégories, et c'est ce qui est le plus important pour la compréhension de la technologie.

C'est ainsi qu'une typologie des technologies a été établie par Carl Mitcham³⁴. Il distingue la technologie comme objet (instruments, outils, machines), comme connaissance (maximes, règles, théories), comme activité (fabrication, design, maintenance, utilisation), comme volonté "*volition*" (active, réceptive). Il estime que cette classification permet, plus que d'autres cadres, d'apprécier la richesse de la technologie. Ainsi à un quelconque niveau les quatre modalités sont présentes et offrent différentes perspectives ou entrées dans la technologie. En outre, entre les quatre modalités, il peut y avoir des possibilités pratiques de recouvrement.

- Comme objet et comme activité (en l'absence de la technologie comme connaissance et volonté), cela peut être, comme jeu avec un jouet ;
- Comme connaissance et comme activité (en l'absence de la technologie comme objet et volonté) c'est le design de voitures imaginaires comme hobby ;
- Comme activité et volonté (en l'absence de technologie comme objet et comme connaissance, dans le sens fort), c'est la pure qualification technique ;

³³ Voir réf.13

³⁴ MITCHAM Carl "*Thinking through technology, the path between engineering and philosophy*" The University of Chicago Press, 1994. Dans ce dernier livre MITCHAM reprend mais développe la typologie qui figure dans sa contribution "*Types of technology*" au livre "*Research in philosophy & technology*" editor Paul T. Durbin, Jai Press Inc, volume 1, 1978. Les notes de son dernier ouvrage sont sans doute la référence la plus complète en la matière.

- Comme objet, activité et volonté (en l'absence de connaissance technologique consciente), c'est la ligne d'assemblage de la production de masse.

À partir des différents types de technologie on peut s'interroger sur les implications éthiques de l'être humain, dont Mitcham dit "être humain s'est être technologique". Il conclut que son livre demeure non plus qu'un commencement pour penser à travers la technologie (*thinking through technology*). Proposition qu'il complète dans les termes suivants : " Si la technologie est comprise comme une part des relations science-technologie-société, et que la philosophie assume un rôle actif dans la culture, alors "thinking through *technology* might become *thinking through technology* ". En quelque sorte la technologie comme "matière à penser".

Ces considérations sont importantes pour l'éducation technologique.

Un des spécialistes européen de l'éducation technologique, le Professeur Marc J. de VRIES, se référant à la typologie de Mitcham en tire les constats et les conséquences suivantes³⁵ :

"Technology education not only aims at teaching specific knowledge and skills, but also at enabling pupils to acquire a balanced overall concept of what the nature of technology is, as well as acquiring a positive, yet critical attitude towards technology. These are of course the more long-term aims. Through all the activities pupils go through in technology education in the course of time gradually such an overall concept and such an attitude has to be built up. Research has shown that pupils generally speaking in their concept of technology are very much biased towards the product dimension of technology (De Vries 1993). According to e.g. Carl Mitcham in his book "Thinking Through Technology" this is only one of the four dimensions of technology; the other three are: technology as process (e.g. designing, making, using, evaluating), as knowledge (the 'discipline' of technology) and as volition (or will, i.e. technology as part of our human nature) (Mitcham 1994). These other three dimensions are only poorly represented in the concept of technology that pupils appear to have. In technology education we should aim for changing. Without a balanced concept of technology as a process of human decision taking pupils will not be able to live in a technological world. Besides that we would like them to have a certain control over technology rather than that they are controlled by technology".

Il faut donc dans une Encyclopédie Systémique de la Technologie dont la finalité est une contribution à la maîtrise sociale de la technologie, mettre en œuvre simultanément ces quatre dimensions. C'est ce qu'on a tenté de faire.

³⁵ dr. Marc J. de VRIES Eindhoven University of Technology, *"Teaching and Learning Basic Concepts of and in Technology"*, communication pour le site EMET;