

ÉDUCATION SCIENTIFIQUE ET ACTION : LES RELATIONS ENTRE LES SCIENCES ENSEIGNÉES À L'ÉCOLE ET LA PRATIQUE

Science Education and Praxis : the Relationship of School Science
to Practical Action, *Studies in Science Education*, 19 (1991) 43-79,
University of Leeds

David Layton

En s'appuyant sur les recherches récentes en histoire et en sociologie des techniques, l'article explore la nature des relations entre les sciences, telles qu'elles sont enseignées et apprises à l'école, et l'action pratique dans le monde fabriqué - l'application des sciences à des fins pratiques n'étant pas sans poser problème. Il défend l'idée qu'il y a lieu de considérer le savoir technologique comme une espèce épistémologique distincte, et des rapprochements sont proposés avec des travaux portant sur la compréhension des sciences par le grand public, où il apparaît clairement que la "pensée naturelle" et la "cognition en pratique" sont nettement plus complexes et moins bien comprises que la pensée scientifique. Les implications de cette argumentation pour les représentations de la science dans l'éducation, les styles de pédagogie adoptés par les enseignants, les caractéristiques des structures institutionnelles et la recherche sont examinées en référence tout particulièrement à l'interface entre éducation scientifique et éducation technologique.

Avant-propos

La traduction de ce texte a soulevé quelques difficultés qui ne sont pas uniquement d'ordre terminologique mais relèvent de ce que, d'une culture à l'autre, les cadres conceptuels pour penser la réalité technique ne se recouvrent pas, malgré l'apparente proximité du langage. Dans la tradition française, le terme "technologie" désigne "la science des techniques", c'est-à-dire, un discours savant (un *logos*) sur les techniques. On pourrait, dans la perspective de Sigaut (1), distinguer deux formes principales de ce discours:

- le discours rationnel, mathématiquement et scientifiquement armé, élaboré au sein de chaque génie (génie mécanique, génie logiciel, génie des organisations, etc...), qui rend compte des phénomènes relatifs aux êtres techniques spécifiques de ce génie dans la perspective d'optimiser leurs fonctionnalités. Le génie mécanique, par exemple, élabore, à destination des ingénieurs, techniciens et ouvriers des industries mécaniques, une technologie de la construction mécanique qui fournit des concepts, des normes et des prescriptions pour concevoir, fabriquer et mettre en oeuvre des artefacts (objets, procédés, systèmes,...) mécaniques.
- un discours à visée descriptive, cherchant à identifier, décrire, localiser et comparer les techniques (p. ex., Diderot), et à visée théorique, tendant à une formali-

sation unifiée, systématique et générale de celles-ci (p. ex., Simondon). Il s'agit ici d'élaborer un savoir sur les êtres techniques eux-mêmes, et pour eux-mêmes, "en tant que phénomènes et non plus seulement pour les phénomènes dont ils sont le siège" (2). Cette technologie, Sigaut la caractérise comme étant scientifique, au sens où elle vise la connaissance. Elle se distingue ainsi de la précédente, celle des ingénieurs, qui a pour projet l'action.

Dans son sens anglo-américain, le mot "*technology*" désigne, non plus une science, mais un champ d'activités et d'objets qui relèvent du processus humain de transformation à visée adaptative du milieu. Ainsi, pour White (3), le terme renvoie à "la modification systématique de l'environnement pour des objectifs humains". Pour Frey (4), c'est "une activité humaine concernée par la fabrication et l'usage d'artefacts matériels", ceux-ci étant entendus au sens de "réalisations concrètes d'une pratique structurée et finalisée".

Cette définition repose sur un découpage de l'activité humaine en un ensemble de champs de pratiques et d'objets, plus ou moins varié et cloisonné selon l'état de différenciation sociale et culturelle des pratiques. On peut, par exemple, distinguer des pratiques esthétiques, religieuses, scientifiques, etc. La *technology* peut constituer, comme chacun de ces champs, un objet d'étude scientifique. Il s'agit alors de déterminer les propriétés distinctives de ce champ, de ses acteurs, de ses objets (y compris conceptuels), de leur genèse et évolution, etc. Les historiens et sociologues anglo-américains ont beaucoup œuvré dans ce domaine. Dans cet article, Layton se réfère amplement à leurs travaux pour caractériser comparativement la nature et la dynamique des savoirs dans le champ de la science et dans celui de la *technology*.

La difficulté pour le traducteur provient donc de ce qu'il ne peut pas traduire "*technology*" qui désigne un champ, par "technologie" qui désigne une science. En effet, s'il existe bien à l'école, tant au Royaume-Uni qu'aux Etats-Unis, une discipline *technology* qui correspond à notre technologie scolaire, il n'y a, en revanche, pas d'équivalent à notre technologie savante si ce n'est le discours des différents génies, qu'on désigne alors par "*engineering science*".

Traduire "*technology*" par "technologie" conduirait donc à masquer des différences paradigmatiques - et, de ce fait, intéressantes, notamment du point de vue de la didactique - entre les traditions françaises et anglo-américaines d'approche scientifique des techniques. Il nous a paru donc plus légitime de traduire "*technology*" par "la technique". Ce mot peut le mieux, en effet, désigner génériquement cette "sphère relativement autonome de la réalité" à laquelle le philosophe J. P. Sérés (5) a consacré un ouvrage récent. Dans la mesure où, dans sa conception, il donne également un sens à l'opposition entre "la technique", "l'art" et "la science" comme "activités humaines aux destins plus ou moins antithétiques, aux valeurs tranchées" mais qui se partagent en commun "le travail humain", cette acception nous a paru assez homogène avec le sens donné à "*technology*".

Nous aurions dû, dans cette optique, traduire "*technological knowledge*" par "connaissance technique", mais alors, comment rendre le sens de "*technical*" dans "*technical skills*" ? Il s'agit ici pour Layton, suivant Staudenmaier, de caractériser la nature et le régime du savoir tel qu'il existe dans "la sphère de la technique" (*technological knowledge*) et donc de distinguer celui-ci du savoir et des compétences mis en œuvre dans une technique particulière (*technical know-*

ledge ou *technical skill*). De manière qui ne nous satisfait pas entièrement mais qui préserve cette distinction, nous avons convenu de les désigner respectivement par les termes "savoir technologique", d'une part, et "savoir technique" ou "compétence technique", d'autre part.

Pierre Verillon
Unité "Processus cognitifs et didactique des
enseignements technologiques", INRP, Paris

- (1) SIGAUT F. (1991). Les points de vue constitutifs d'une science des techniques, essai de tableau comparatif. In PERRIN J. (Ed.), *Construire une science des techniques* (pp. 381-397). Limonest: L'interdisciplinaire.
- (2) LAFFITE, cité par SIGAUT, op. cit.
- (3) WHITE, cité par STAUDENMAIER J. (1985). *Technology's storytellers*. Cambridge: MIT Press.
- (4) FREY R.E. (1991). Another look at technology and science. *Journal of Technology Education*, 3 (1), pp. 16-29.
- (5) SERIS J. P. (1994). *La technique*. Paris: PUF.

"La compréhension passe par la connaissance du fonctionnement des choses et de la manière dont on les réalise. La compréhension, de par sa nature même, est liée à l'action, tout comme l'information, de par sa nature même, est isolée de l'action." John Dewey, 1946, p. 49.

"C'est le caractère explicite du savoir codifié qui est à la fois sa force et sa limite par rapport à l'action. Sa force réside dans le fait qu'il peut s'apprendre et qu'il est identifiable en tant qu'objet culturel, qu'il contraint à la réflexion et à l'organisation. Sa faiblesse est que ce savoir explicite doit être approché dans ses propres termes, de sorte qu'il y a toujours un écart entre lui et les problèmes d'action qui doivent être résolus." Burkart Holzner et John H. Marx, 1979, p. 252.

"L'information qui est produite dans un système existe sous une forme codée particulière, à la fois reconnaissable et utile aux acteurs du système. Si cette information doit être transférée d'un système à un autre (disons de la science à la technologie...) elle doit être traduite dans un code différent, convertie sous une forme compréhensible dans un monde où les valeurs sont différentes." Hugh G.J. Aitken, 1985, pp. 18-19.

INTRODUCTION

Les trois citations ci-dessus évoquent certains aspects du problème général auquel cet article est consacré, c'est-à-dire celui de la nature des rapports qu'entretient ce qui est enseigné et appris dans les cours de sciences à l'école avec l'action pratique dans le monde fabriqué. Nous examinerons de près la notion d'application des connaissances, dans le sens auquel renvoie souvent le terme de "science appliquée". Nous défendrons un point de vue en faveur d'un emploi modéré - sinon de l'abandon pur et simple - de ce concept d'application des connaissances, du fait que son côté abstrait dissimule et néglige une partie

trop importante de la complexité des processus en jeu. On s'intéressera à quelques questions associées telles que celles de la relation entre science et technique, de la nature du savoir technologique qui étaye le "savoir-faire" technique et, plus généralement, celle des savoirs pratiques. Pour explorer les relations entre formation scientifique et *praxis*, il est nécessaire de faire appel à des données provenant de diverses sources. Dans ce qui suit, ces données incluent des éclairages issus de l'histoire, de la philosophie et de la sociologie des sciences et de la technique, ainsi que de la recherche sur la compréhension des sciences par le grand public et des éléments provenant des études psychologiques relatives à la "cognition en action" et la construction du "savoir situé". La tâche est énorme et cet essai ne constitue qu'une première exploration du domaine. Mais, d'abord, comme dirait le guide Michelin, "un peu d'histoire"*.

LA SÉPARATION DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES

Pour Léonard de Vinci, comme pour tous les autres ingénieurs de la Renaissance (Gille, 1964) et pour Francis Bacon, un peu plus tard, la connaissance du monde naturel apparaissait comme le moyen par lequel les hommes contrôlèrent et soumettraient à leur volonté les forces de la nature. Selon l'aphorisme de Bacon, "les connaissances de l'homme et le pouvoir de l'homme sont un" (Bacon, 1905, p. 259). En réalité, pour celui-ci, la garantie de la vérité des connaissances était à la mesure de leur utilisation possible pour soulager la condition de l'homme. "Car les fruits et les travaux sont pour ainsi dire des preuves et des garants de la vérité des philosophies", déclara-t-il (Bacon, 1905, p. 276) et "la vérité et l'utilité sont ici exactement la même chose".

Bien qu'une récente étude interprétative de Bacon et de "la tradition du savoir créateur" (Pérez-Ramos, 1988) remette en question le fait que certaines de ses conceptions-clés telles que "le contrôle de la nature", aient eu le même sens pour lui que pour nous aujourd'hui, nous disposons de nombreux documents attestant du lien étroit existant à la Renaissance entre cognition et action pratique. Gernot Böhme et ses collègues du Max-Planck Institut de Starnberg citent Léonard pour corroborer l'idée dominante à l'époque selon laquelle le but d'une connaissance de la nature n'était pas seulement de l'ordre de la connaissance factuelle, mais aussi de la construction "arte-factuelle" fondée sur les règles délimitant le domaine du monde naturel. "Si vous me demandiez : que permettent vos règles et quelle est leur utilité ?, je vous répondrais qu'elles empêchent les inventeurs et les chercheurs de se promettre à eux-mêmes, et de promettre à d'autres, des choses qui sont impossibles", écrit Léonard (Böhme et al., 1978, p. 223). Avec ces expérimentateurs et entrepreneurs qui partageaient une telle conception de l'association intime entre le savoir et le faire, Léonard et Bacon ont cru en l'avènement de ce que nous appellerions aujourd'hui une révolution simultanée et unifiée de la science et de la technique.

Celle-ci n'a pas eu lieu. La science et la technique ont connu des processus de développement dont les voies, bien que reliées entre elles, sont restées séparées. La révolution industrielle se dérouta, en Grande-Bretagne, un siècle après la révolution scientifique et, à l'exception peut-être de l'industrie chimique, ses origines doivent peu au savoir scientifique (Russell, 1983, p. 99). C'est un état de différenciation cognitive et institutionnelle qui a caractérisé les rapports entre la science et la technique dans la période qui succéda au principat de Newton.

* En français dans le texte.

Dans le domaine cognitif, la transformation de la mécanique terrestre et céleste introduite par Galilée et Newton a impliqué ce que Edwin Layton Jr. (1990) a appelé *“une idéalisation héroïque de la réalité”*, la création d'un *“monde fantôme”* de points qui n'occupaient pas d'espace, de corps matériels ne se déparant pas de leurs parfaites rigidité et sphéricité, et pour lesquels le mouvement linéaire par inertie (ou le repos) était la norme, de milieux liquides nullement troublés par l'agitation et les remous, et d'un espace qui était homogène et isotrope. Dans ce monde d'abstraction, il ne se manifestait aucune intrusion de ces effets d'échelle qui déconcertaient tant les ingénieurs et auxquels s'était autrefois heurté Galilée (par exemple, pourquoi les grandes machines, bien que construites dans les mêmes proportions géométriques que des machines plus petites et efficaces du point de vue opérationnel, constituaient-elles souvent des échecs). Les mêmes lois de la mécanique décrivaient des événements, qu'ils se situent à l'échelle terrestre ou à l'échelle céleste.

Une caractéristique notable de cette transformation incontestablement puissante a été qu'elle mit en évidence un nouvel objectif pour la recherche. Bien que les savants commençaient souvent leurs recherches à partir d'un point d'intérêt technologique (par exemple, l'observation par des ingénieurs des mines au seizième siècle que des *“pompes aspirantes”* ne pouvaient pas amener l'eau à une hauteur supérieure à neuf mètres environ), leur but n'était pas d'améliorer la performance de l'objet technique, mais d'accéder à ses principes afin d'aboutir à une théorie générale (par exemple, le travail ultérieur des élèves de Galilée, Torticelli et Viviani, qui avec celui de Pascal, conduisirent à une théorie générale de la pneumatique). Comme Peter Weingart (1978, p. 265) l'a exprimé, *“le point essentiel réside dans ce que la recherche des causes dépasse les artefacts humains et conduit aux principes sous-jacents de la nature”*. On peut donc dire que la science et la technique se sont différenciées non pas en raison de procédures opératives, ni même de cadres conceptuels distincts, mais principalement par les buts qu'elles poursuivaient. Pour reprendre les termes d'un éminent historien américain de la technique, les divisions qui les séparèrent étaient devenues des divisions *“entre des communautés qui respectivement valorisent le savoir et le faire”* (Layton, 1977, p. 209).

Bien sûr, des interactions entre les deux communautés ont existé à des degrés divers. Les techniques de l'instrumentation (horloges, thermomètres, voltmètres, ampèremètres et autres appareils de ce type) ont permis une plus grande précision et la standardisation des données scientifiques. D'autres artefacts techniques tels que les télescopes, les microscopes, les pompes à vide et les cellules électriques ont élargi le champ de l'expérience sensible et contribué à la reproductibilité fiable des phénomènes. En retour, la théorisation scientifique générale était mise au service de procédés et de problèmes techniques, bien qu'elle n'obtienne pas toujours le succès que ses adeptes escomptaient. Les ingénieurs furent prompts à signaler les différences entre, par exemple, la mécanique scientifique de Galilée et de Newton et la mécanique technique nécessaire pour assurer le fonctionnement effectif de vraies machines dans des situations pratiques. Au début du dix-huitième siècle, Antoine Parent utilisa le calcul infinitésimal, disponible depuis peu, et des raisonnements compatibles avec la mécanique de Newton pour montrer que la puissance utile maximale d'une roue à aubes à courant était égale à $4/27$ ème seulement de la puissance naturelle du courant. Plus tard, au cours de ce même siècle, sur la base de ses propres connaissances pratiques en matière de conception, de construction et de réparation de roues hydrauliques, John Smeaton mit en doute cette conclusion.

Par une expérimentation systématique et quantitative avec un modèle de roue mesurant 61 cm, en utilisant des charges allant de zéro jusqu'à la limite de la roue, Smeaton a démontré que le rapport maximum était proche de 1/3 pour une roue à aubes à courant et était multiplié par deux pour une roue à chute (Cardwell, 1972, p. 79). Dans le même esprit, Frédéric le Grand écrivit à Voltaire en 1778 à propos des mérites respectifs de la "théorie" et de la "pratique":

"Les Anglais ont construit des bateaux avec des sections les plus avantageuses d'après Newton, mais leurs amiraux m'ont assuré que ces bateaux ne naviguent pas du tout aussi bien que ceux qui ont été construits selon les règles de l'expérience. Je voulais faire une fontaine dans mon jardin. Euler a calculé la puissance des roues qui auraient dû amener l'eau dans le réservoir, à partir duquel elle devait se répandre de nouveau dans les canaux et ensuite jaillir dans les fontaines à Sans Souci. Mon dispositif pour faire monter l'eau fut réalisé d'après des calculs mathématiques mais ne put jamais amener une seule goutte d'eau à cinquante pas du réservoir. Vanité des vanités ! Vanité des mathématiques !" (Klemm, 1959, p. 262).

Dans une large mesure, les communautés de savants et de praticiens sont restées distinctes sur le plan institutionnel tout au long du dix-huitième siècle. Les savoirs des uns étaient transmis en termes de théories codifiées et manipulées au moyen de symboles abstraits. De l'autre côté, les savoirs étaient transmis par l'intermédiaire de la démonstration personnelle et par l'émulation. En fait, les débats relatifs aux inconsistances entre "la théorie" et "la pratique" devaient durer pendant une grande partie du dix-neuvième siècle (par exemple Hunt, 1983 ; Bud et Roberts, 1984 ; Kline, 1987). En la personne de Smeaton, cependant, nous pouvons voir le prototype d'un "homme nouveau", l'ingénieur professionnel, capable d'assurer la médiation entre, d'un côté, la science et, de l'autre, le mécanicien au travail. En plus de ses études sur les roues hydrauliques, sa méthode d'expérimentation systématique qui, sur une période de quatre ans, donna lieu à plus de cent-trente expériences, le conduisit à améliorer remarquablement l'efficacité de la machine à vapeur de Newcomen.

"Son procédé consistait à régler la machine de façon à ce qu'elle marche bien, et ensuite, après avoir observé attentivement son fonctionnement dans cet état, à modifier un des détails, en quantité et en proportion, après quoi l'efficacité de la machine était testée avec ce changement ; tous les autres détails, à l'exception de celui-ci qui faisait l'objet de l'expérience, restaient inchangés dans la mesure du possible." (John Farey) (1)

Smeaton était un partisan appliqué et totalement novateur de la méthode des améliorations progressives et incrémentielles apportées aux objets techniques fabriqués existants. Par analogie avec la caractérisation de la science par Kuhn en termes de "normale" et "révolutionnaire", le travail de Smeaton peut être décrit comme relevant de la "technologie normale" (Kuhn, 1962). Cependant, l'investigation systématique ne suffisait pas, il fallait aller au-delà de l'optimisation des paramètres pour permettre de radicales innovations dans la conception et la réalisation.

(1) Cité par Cardwell, 1972a, p. 83.

LA SCIENTIFISATION DE LA TECHNIQUE

Au début du dix-neuvième siècle, dans son *Discours Préliminaire sur l'Etude de la Philosophie Naturelle*, J.F.W. Herschel donna une indication des conditions nécessaires au progrès de la technique. Les arts pratiques restaient, d'après lui, "séparés de... la science par un large fossé qui ne peut être franchi que par une impulsion vigoureuse. Ils créent leur langage et leurs propres conventions, que seuls les spécialistes de cet art peuvent comprendre. La tendance générale de l'art empirique est de se perdre dans des détails techniques et sa fierté repose sur des astuces particulières et des mystères connus des seuls adeptes..." Par opposition au savoir privé, fréquemment implicite et spécifique à chaque objet fabriqué, qui est associé à une grande partie de la pratique technique, la science se présente comme s'exposant à plaisir aux investigations et faisant du chemin menant à ses conclusions "un boulevard". En ce qui concerne les objets techniques, l'objectif collectiviste de la science était "d'écarter tout mystère, d'illuminer toute zone d'ombre, et d'obtenir le libre accès à tous les procédés afin de les améliorer à partir de principes rationnels" (Herschel, 1830, pp. 71-72).

C'est William Whewell qui donna son adhésion à ce point de vue quand il prit la parole, à Cambridge en 1833, lors de la troisième réunion annuelle de l'Association Britannique pour l'Avancement de la Science. Le contexte était celui d'un débat en cours, à savoir dans quelle mesure l'invention et le progrès technique dans les arts mécaniques et chimiques devraient avoir leur place dans les programmes du nouvel organisme. Finalement, une section supplémentaire, G, pour les sciences mécaniques fut créée en 1836, mais pas avant que ne se soit auparavant installée une idéologie proclamant la supériorité de "la science, de la connaissance et de la théorie" sur "la pratique". "L'art a toujours été la mère de la science", admit Whewell, mais la science était "une fille à la beauté incomparablement plus sereine et noble" (Whewell, 1834, pp. XXV).

Dans sa première et discutable proposition considérant la technique comme la principale génitrice de la science, les "hommes de la pratique" se voyaient offrir compensation par Whewell pour leur rôle subalterne dans le rapport science - technique. De plus, la perspective d'une évolution vers les sciences mécaniques leur offrait la possibilité de valoriser leur activité à travers l'association à la théorie générale et au symbolisme abstrait. La base d'un futur contrat social, liant la science, "pendant une succession d'œufs en or, et... la société payant pour comprendre comment la nature fonctionne afin d'exploiter les potentialités de la nature", était sous-entendue dans la relation (Keller, 1984, p. 160). Les ressources de la théorie scientifique pouvaient fournir des connaissances, des principes et des idées que l'on aurait eu peu de chance d'obtenir par le développement continu, par approximations successives, à la Smeaton, d'un dispositif technique. Leur accès ouvrait des possibilités nouvelles de conception et de réalisation, d'où la perspective d'une évolution technique "révolutionnaire" par opposition au changement technique "normal". La théorie était investie du rôle d'"heuristique de l'invention" (Böhme et al., 1978, p. 236). Bien qu'elle soit loin d'être la seule source de nouveauté et de discontinuité dans la genèse d'artefacts, la science était considérée comme ayant un potentiel incomparable, au point d'encourager une conception de la technique réduite au statut de "science appliquée". A la limite, la "science pure" autonome était considérée moins comme une ressource pour le développement technique qu'un moteur impulsant les changements dans ce champ. Comme Lyon Playfair l'a exprimé au cours d'une conférence après l'Exposition Universelle de 1851, "les cultivateurs de la science abstraite, les chercheurs de vérité pour l'amour de la vérité sont... les «chevaux» du char de l'industrie" (Cardwell, 1972b, p. 81).

Une telle opinion, étayée par des exemples tels que le télégraphe électrique et l'industrie de la teinture synthétique, devint largement partagée, notamment dans le milieu de l'enseignement. Lorsqu'en 1857, dans son discours présidentiel devant la *Chemical Society*, le Professeur W.A. Miller, du *King's College* à Londres, salua la découverte du mauve par Perkins, comme étant "*une application réussie de la science abstraite à une finalité pratique d'importance*", il ne faisait qu'illustrer un thème déjà bien rôdé (Miller, 1857, p. 187). Bien sûr, son affirmation n'était pas tout à fait correcte, puisque la découverte de Perkins avait été accidentelle. Fait plus important et tout à fait caractéristique, rien n'indiquait que l'acte d'application puisse être autre chose qu'un processus routinier et sans problème. En réalité, la tâche qui consistait, avec ses aspects organisationnels et ses risques, à passer d'une expérience faite sur la pailleasse d'un laboratoire à la première synthèse industrielle d'un produit dont la qualité et le prix devaient lui permettre d'accéder à un marché important, souleva des difficultés énormes, non seulement scientifiques et techniques mais aussi d'ordre économique, environnemental et juridique (Travis, 1990).

Les systèmes de médiatisation éducative que sont les programmes scolaires, la pédagogie et l'évaluation furent de plus en plus mobilisés pendant la deuxième moitié du dix-neuvième siècle pour définir et promouvoir "la science pure" comme une catégorie dominante, dégagée des contextes pratiques. Les processus sociaux par lesquels elle acquit une hégémonie dans les institutions éducatives ont été décrits ailleurs (Layton, 1973, 1975 et 1981 ; Bud et Roberts, 1984) et nous ne nous y attarderons pas davantage. Le point important est que, le temps que les influences économiques et industrielles, ainsi que la professionnalisation des ingénieurs, conduisent à introduire la technologie dans les programmes des universités britanniques, "la théorie abstraite" avait réussi à s'y imposer et à y conquérir un statut élevé alors même que "la pratique" était considérée comme avilissante et manquant de prestige.

Une telle situation posa de sévères problèmes à ceux qui étaient nommés à des chaires d'ingénierie en université. Si leur programme universitaire mettait "la théorie" en valeur, cela pouvait être considéré comme une incursion fâcheuse sur le territoire de départements scientifiques déjà existants; si leur penchant allait vers "la pratique", le danger était qu'ils empiètent sur les systèmes d'apprentissage répandus à l'époque. La solution définie par W.J.M. Rankine, professeur titulaire d'une chaire d'ingénierie civile et mécanique à Glasgow, de 1855 à 1872, fut de dépasser les catégories traditionnelles de "théorie" et "pratique" en se centrant plutôt sur le problème de la nature de leur interaction. Réduire celle-ci à un processus l'application de la science revenait, selon Rankine, à présenter les choses sous un faux jour, sauf à considérer que ce processus entraîne un remaniement actif et créatif de la science. Pour lui, "*l'application de ces principes [scientifiques] à la pratique est, en soi, un art*" (Rankine, 1857, p. 13).

Comme la science et la technique avaient évolué avec leur propre cadre conceptuel, les découvertes en matière de science ne pouvaient pas toujours trouver aisément des applications en technologie. La "scientification" de la technologie par Rankine et quelques autres, tels que Osborne Reynolds à Manchester et Fleeming Jenkin à Edimbourg, a consisté à élaborer de nouvelles connaissances qui ont fonctionné comme un intermédiaire entre science abstraite et action pratique. De cette façon, un problème de micropolitique universitaire de conception de programmes fut résolu; en même temps, "les génies" acquirent un caractère distinctif et autonome.

LE SAVOIR TECHNOLOGIQUE

En faisant appel à la recherche en histoire, philosophie et sociologie de la technique, pour expliquer davantage la nature de la technologie, on remarque que l'essentiel de ce travail est récent. La *Society for the History of Technology* a été fondée en 1958 et son journal *Technology and Culture*, prééminemment dans le domaine, est publié depuis 1959. Une Bibliographie de la Philosophie de la Technique, tout à fait originale, par Carl Mitcham et Robert Mackay, a d'abord paru sous la forme d'un numéro spécial de *Technology and Culture* en 1975 et le premier volume de *Research in Philosophy and Technology*, publication officielle de la *Society for Philosophy and Technology* est paru en 1978. Un compte-rendu plus détaillé du développement de la philosophie de la technique est fourni par Durbin (1989). Bien que des contributions de pays européens (à l'exception de la Grande-Bretagne) à l'histoire et à la philosophie de la technique aient préexisté aux travaux, principalement américains, évoqués ci-dessus, tout montre que, d'une manière générale, l'intérêt des institutions savantes relatif à la nature de la technologie est un phénomène qui date de la seconde moitié du vingtième siècle. Par ailleurs, la comparaison avec l'intérêt porté par les institutions savantes à la nature de la science dans la première partie de ce siècle est instructive. *Isis*, le journal le plus important d'histoire des sciences a commencé à paraître en 1912. Le premier département d'histoire et de philosophie des sciences dans une université britannique a été fondé à *University College* à Londres en 1923. La *Logik der Forschung*, œuvre initiale de Karl Popper, a été publiée à Vienne en 1934 et plusieurs journaux tels que *Annals of Science*, *Ambix* et *Notes and Records of the Royal Society* datent également du milieu des années trente. L'ouvrage influent (surtout sur l'enseignement des sciences) de J.B. Conant, *On understanding Science, An historical approach*, a été écrit en 1946. On peut émettre l'hypothèse raisonnable que, tout comme la compréhension savante de la nature de la science a été utilisée pour influencer les objectifs et la pratique de l'enseignement des sciences (Layton, 1990a), de la même manière, les résultats de la recherche sur la nature de la technique auront un impact, au niveau des programmes scolaires, sur l'enseignement de la technologie.

Mentionnons à ce propos les relations entre la science et la technologie. Peu de chercheurs, si tant est qu'il y en ait, souscriraient au modèle hiérarchique de dépendance qui présente la technique comme ancillaire et impliquant simplement l'application routinière et servile des connaissances et savoirs-faire scientifiques. Ce point de vue est insoutenable au vu des approches historiques précises d'innovations techniques spécifiques qui ont été réalisées dans divers domaines. Contentons-nous de citer quelques exemples de ce vaste champ tels que le compte-rendu d'Edward Constant (1980) sur les origines de la révolution du turboréacteur, l'ouvrage, qui a été primé, de Thomas Hughes *Networks of Power : Electrification in Western Society* (1983), la description de "l'analyse de l'utilisation du contrôle de la puissance" chez les ingénieurs pour illustrer "une différence de pensée en ingénierie et en physique" faite par Walter Wincenti (1982), la recherche sur les origines de la radio effectuée par Hugh Aitken (1985) et l'étude par Ronald Kline sur le développement du moteur à induction (1987). Par rapport à la science, la technique n'est plus considérée comme lui étant subordonnée ; la relation est caractérisée par l'égalité, la symbiose et l'interaction.

Une présentation élégante de cette thèse a été donnée par Edwin Layton (1987) dans son discours présidentiel devant la Société pour l'Histoire de la Technique,

intitulé "A travers le miroir ou des nouvelles de l'image inversée dans le reflet du lac". Le titre sous-entend que la science et la technique renvoient des images inversées jumelles, souvent indifférenciables à première vue, surtout de nos jours où elles ont recours au même type d'équipement et font en apparence des choses similaires. Cependant, de par leur nature même, leurs buts sont différents; toutes les deux créent du savoir, mais "le savoir technologique est conditionné pour servir les besoins de la conception. Le savoir, dans les sciences fondamentales, est façonné par le désir de construire la théorie la plus générale et complète" (p. 605).

John M. Staudenmaier a approfondi cette thèse à travers une remarquable analyse historiographique du langage, de la méthodologie et de la thématique des articles publiés dans *Technology and Culture* entre 1959 et 1980. Les relations entre science et technique avaient été le thème de deux numéros spéciaux de *Technology and Culture* en 1961 et 1976, et d'autres articles avaient également abordé ce sujet. Staudenmaier attira l'attention sur une conclusion importante qui semblait surgir de l'analyse de cette recherche. Un consensus croissant "sur l'inexistence de critères pratiques utilisables pour établir des distinctions claires et nettes entre la science et la technique" (Mayr, 1976, p. 668) et sur le fait que "les catégories d'analyse «science» et «technique» ne sont pas des catégories qui éclairent notre compréhension de ces activités" (Thackray, 1976, p. 645) ont conduit à l'émergence d'un thème davantage porteur, celui des "caractéristiques du savoir technologique" (Staudenmaier, 1985, p. 85).

Le savoir technologique doit être compris ici comme un savoir "structuré par une tension entre les exigences d'une conception [design] fonctionnelle et les contraintes spécifiques de son contexte". Les concepts issus du processus de conception [design concepts] ne peuvent pas rester au niveau abstrait, mais "doivent sans arrêt être réélaborés en fonction de contraintes liées aux matériaux disponibles qui sont elles-mêmes déterminées par des questions de coûts, de temps, de compétence de la main d'œuvre" (p. 104). L'intégration du "caractère universel et abstrait d'un tel concept avec les contraintes nécessairement spécifiques de chaque contexte dans lequel il opère" sembleraient constituer le principal problème cognitif du savoir technologique (p. 111).

Staudenmaier identifie quatre formes caractéristiques du savoir technologique d'après sa revue d'articles de *Technology and Culture*. Il distingue les "concepts scientifiques", les "données problématiques", la "théorie des différents génies", et "la compétence technique" (pp. 103-120). A propos des concepts scientifiques, deux points sont très importants pour l'enseignement des sciences. Dans leurs investigations portant sur le rôle de la science dans les développements techniques, de nombreux auteurs ont montré que "les concepts scientifiques, avant de pouvoir contribuer au savoir technologique, doivent faire l'objet d'une restructuration et d'une appropriation aux exigences spécifiques du problème de conception considéré" (p. 104). Ils ne gardent pas leur forme originale. De plus, du point de vue du savoir technologique, conçu comme singulier et non réductible, le rôle intellectuel de la science dans la relation science-technique n'est plus celui du partenaire supérieur. Au contraire, on pourrait défendre que "la science pure n'est que la servante de la technique, une femme de chambre au service du progrès technique" (Skolimowski, 1966, p. 373).

"Les données problématiques", la deuxième caractéristique, font référence à ces zones d'ignorance auxquelles les techniciens sont souvent confrontés. Comme Rankine l'affirmait, il est rarement possible d'attendre le progrès des sciences; une action immédiate est attendue de la part du technicien, et si les données existantes ne permettent pas d'apporter une solution exacte à un problème,

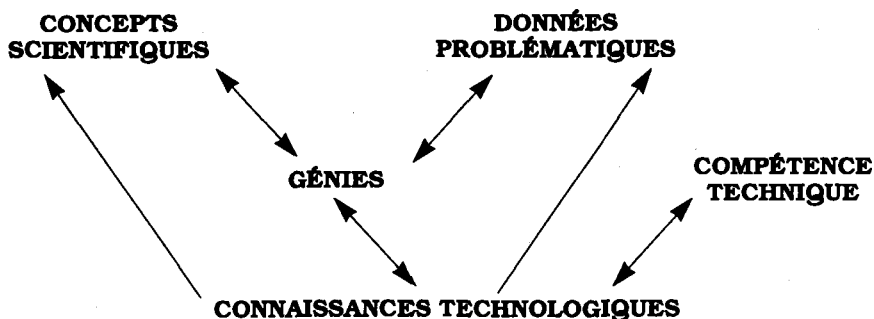
alors on utilise la meilleure approximation. *"Un jugement rapide et fiable manifesté dans de tels cas est une des caractéristiques du praticien"* (Rankine, 1872, p. 10). La quête de données incertaines peut s'avérer nécessaire dans une variété de contextes tels que le développement d'une nouvelle technique, l'échec catastrophique d'une technique établie et les activités d'instances de régulation, de santé et de sécurité. L'étude de Brian Wynne sur les événements fortuits dans le domaine de la technique, subtilement intitulée *"la technique indisciplinée"*, vient étayer la conclusion de Staudenmaier, à savoir qu'*"aucune technique n'est complètement maîtrisée, même une fois introduite dans la pratique normale"* (p. 107). Discutant de la nature sociale de la technique *"normale"* à partir de ses résultats, Wynne affirme que *"les règles de fonctionnement des techniques sont un brassage ad hoc de modes informels accommodant des principes généraux imprécis à des circonstances particulières de mise en œuvre"* (Wynne, 1988, p. 149). Par opposition aux sciences, où les données sont associées à des théories abstraites et générales, les données techniques sont déterminées par le caractère spécifique de chaque pratique technique et sont relatives à celle-ci.

La théorie des différents génies constitue une caractéristique principale du savoir technologique, dans laquelle figurent pour partie les concepts scientifiques et les données problématiques. D'après l'usage du terme en histoire des techniques, Staudenmaier le définit comme *"un corpus de connaissances mettant en œuvre des méthodes expérimentales en vue de construire un système intellectuel formel et mathématiquement structuré [...qui] rend compte des caractéristiques comportementales d'une classe particulière d'artefacts ou de matériaux se rattachant à des artefacts"* (p. 108). Cette définition présente des similitudes avec celle d'une théorie scientifique, mais, on peut soutenir qu'elle en diffère à la fois sur le fond et sur la forme, car les contenus et les procédures des génies sont *"structurés par les nécessités des pratiques technologiques plus que par les exigences plus abstraites d'une discipline scientifique"* (p. 109). C'est, semble-t-il ce que Rankine envisageait quand il affirmait que son programme donnerait à un étudiant les compétences requises *"pour concevoir une structure ou une machine dans un but précis, sans qu'il lui soit nécessaire de copier un modèle existant, et d'adapter ses projets pour lesquels aucun exemple existant ne fournit de parallèle. Il lui permettrait d'évaluer la limite théorique de la résistance ou de la stabilité d'une structure ou le rendement d'une machine particulière, - de s'assurer de la mesure dans laquelle une structure ou une machine donnée n'arrive pas à atteindre une limite, - de découvrir les causes de tels défauts, - et de concevoir des améliorations pour parer à de telles causes ; et il serait à même de juger dans quelle mesure une règle pratique établie est fondée sur la raison, sur la simple pratique courante ou sur l'erreur"* (Rankine, 1872, p. 9).

Cela étant, il n'en reste pas moins que le génie n'élabore que des objets du domaine de la pensée et non des réalisations pratiques dans le monde fabriqué. L'articulation entre la théorie et l'action doit encore être abordée, ce qui implique que l'on s'intéresse au concept de compétence technique.

Une interprétation consiste à dire que la notion de génie sous-entend une division du travail entre, d'un côté, l'expert en théorie qui conçoit et planifie et, de l'autre côté, l'opérateur, techniquement compétent qui exécute le projet. Il existe une disjonction entre le savoir et le faire. En d'autres termes, la compétence technique n'est rien d'autre que l'application de ce savoir codifié, sous la forme de formules, de règles et de tableaux qui constituent la théorie d'un génie.

Un point de vue opposé répondrait que la compétence technique doit s'apprendre par l'expérience, que, d'après Nasmyth, "la nature et les propriétés des matériaux ne peuvent s'apprendre que par leur manipulation" et que "aucune pratique technique ne peut être entièrement réduite à de la théorie abstraite" (Staudenmaier, p. 115). Pour cette raison, il existe des jugements techniques qui ne peuvent pas être basés sur le seul savoir théorique. Un exemple nous est fourni par l'histoire d'un projet de fabrication de la fusée allemande V 2. "Le responsable d'une telle organisation doit posséder une bonne part de savoir technique, de bon sens et d'expérience pour déterminer le moment opportun où il faudra geler le développement, et commencer la production" (Dornberger, 1963, p. 400).



**Figure 1 : Un modèle de la nature du savoir technologique
(d'après Staudenmaier, 1985)**

Staudenmaier conclut que si on considère l'ensemble des développements techniques, y compris des évolutions techniques récentes, les travaux des historiens sont plutôt en faveur de cette deuxième conception de la compétence technique. La conception disjonctive du savoir et du faire, sur laquelle reposent les modèles de type "application", n'est pas solidement étayée et l'interprétation dominante de la compétence technique est celle d'un mode cognitif singulier et non réductible.

On retrouve ici plus ou moins ce que Donald Schön, évoquant la nature des pratiques professionnelles compétentes, a appelé "savoir en acte", c'est-à-dire "un genre de savoir (qui) est inhérent à l'action intelligente" (Schön, 1983, p. 50). Comme Schön, les historiens de la technique rejettent comme inadéquate une épistémologie de la pratique reposant sur la rationalité technique, c'est-à-dire "l'application d'un savoir privilégié à des problèmes instrumentaux de pratique" (Schön, 1987, p. XI). L'accent mis sur le tacite est plus affirmé chez Schön que dans la conception du savoir technique chez les historiens. Ceux-ci acceptent peut-être avec trop d'empressement, dans leurs références à la science, ce que Bruno Latour a appelé "les deux mythes d'universalité et de transparence, selon lesquels la science n'était pas seulement uniforme, mais était aussi le seul mode de savoir complètement explicite et articulé" (Latour, 1990, p. 96). L'accord de ces différents courants de recherche pour associer à l'action pratique une forme de cognition distincte est cependant décisif, notamment au regard d'un enseignement des sciences considéré le plus souvent comme constituant les fondations sur lesquelles repose en définitive la pratique.

CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ET ENVIRONNEMENT QUOTIDIEN

Nous nous tournons maintenant vers une autre source de réflexion concernant les relations entre l'enseignement des sciences et la pratique.

Ce thème est introduit par une réflexion sur la nature des relations entre la science et la technique, que, comme nous l'avons vu, les historiens de la technique ont resitué en tant que thème secondaire d'une compréhension plus globale de la *praxis* technique comme forme de savoir.

Dans une critique du modèle de dépendance hiérarchique et un plaidoyer en faveur du modèle égalitaire et interactif, le sociologue des sciences, Barry Barnes (1982, p. 169) soulève une question intéressante. *"Pourquoi ne pas utiliser un modèle interactif de ce genre pour conceptualiser les relations de la science avec d'autres sous-ensembles culturels [que la technique] ? Pourquoi, par exemple, les relations entre des sous-ensembles culturels tels que la science et la politique, sous réserve que de telles relations existent, ne seraient-elles pas conceptualisées de cette façon, ou encore, les relations entre la science et notre culture quotidienne de sens commun ?"*

Bien que la seconde de ces relations soit l'objet de cette partie, la première mérite une brève digression. Ce que Barnes suggère ici, c'est que les contextes politiques dans lesquels la doctrine publique est formée relativement à des questions telles que les normes d'utilisation d'un additif alimentaire, d'un médicament nouveau ou d'un pesticide, entretiennent des rapports non négligeables avec la science. Edwin Levy a nommé *"science mandatée, le travail des scientifiques et des technologues intervenant à l'intérieur d'instances mandatées pour faire des recommandations ou prendre des décisions de nature politique ou juridique"* (Levy, 1989, p. 41). Les agences de réglementation, les commissions d'experts, les organismes fixant des normes et les tribunaux sont des exemples de telles instances.

La réponse de Levy à la question de Barnes est que le fait de conceptualiser les relations comme interactives se révèle effectivement fructueux. *"Les données et les articles [scientifiques] doivent souvent subir une sorte de processus de transformation quand ils entrent dans le domaine du mandaté"* parce que *"les normes, la nature des faits, les concepts de cause et d'effet, le contrôle de la situation"* ne sont pas les mêmes que dans le contexte d'une discipline de *"science pure"*. Il oppose, sur le fond et sur la forme, l'exposé que ferait un scientifique s'adressant à ses pairs lors d'une conférence, à la communication que prononcerait ce même scientifique en tant qu'expert lors d'un procès (p. 43).

L'élargissement de l'argument de Levy au domaine de l'évaluation des risques n'a pas besoin d'être poursuivi ici, si ce n'est pour constater son rejet du modèle en deux étapes selon lequel *"la science expose, la société dispose"*, signifiant que **la mesure du risque** est une activité scientifique objective et probabiliste alors que **l'acceptabilité du risque** entraîne des jugements de valeur individuels et sociaux. Pour lui, et **la mesure** et **l'acceptabilité du risque** sont toutes deux des activités à la fois chargées de valeurs et scientifiques. Bien que cette conclusion n'ait rien d'exceptionnel et soit à présent admise, sa signification réside ici dans la lumière qu'elle projette sur *"la science mandatée"*. Celle-ci existe dans des conditions concrètes et confuses *"qui sont très éloignées des systèmes idéalisés et isolés de la « science pure »"* (p. 50). Elle comporte des incertitudes et des faiblesses à la fois en ce qui concerne les données et les interprétations possibles ; et pourtant elle est requise pour servir de base à l'action

pratique. Sa construction a beaucoup de choses en commun avec celle du savoir technologique tel qu'il a été exposé dans la partie précédente. Evoquant le même phénomène, qu'il appelle "science du citoyen", J.R. Ravetz affirme que "pour évaluer des renseignements techniques faibles ou mal fondés, pour distinguer (et **non** séparer) les aspects plus ou moins imprégnés de valeurs de matériaux et de méthodes ;... ainsi que pour concevoir des structures politiques appropriées permettant de parvenir à un consensus, à des décisions, à un contrôle, à une mise en application, tous les partenaires devront faire face à l'incertitude et à l'ignorance" (Ravetz, 1985, p. 3).

Si nous revenons maintenant à la deuxième relation mentionnée par Barnes, c'est-à-dire à celle existant entre la science et "la culture quotidienne de sens commun", les résultats de recherches récentes sur la compréhension des sciences par le grand public sont éclairants. Dans une large mesure, l'origine de ce travail est lié au constat que le grand public apparaît ne pas comprendre, voire ignore complètement, les sciences (*Royal Society*, 1985 ; Laetsch, 1987 ; Thomas et Durant, 1987). En Grande-Bretagne, une commission mixte (COPUS) de la *Royal Society*, de la *Royal Institution* et de la *British Association for the Advancement of Science* fut fondée en 1986 en vue d'améliorer la situation et le *Economic and Social Research Council* finança un programme de dix projets, coordonné par le *Science Policy Support Group* (ESRC, 1990). D'autres recherches avaient été entreprises à l'université de Leeds (Layton, Davey et Jenkins, 1986 ; Layton, 1986), aux États-Unis (par exemple Stern et Aronson, 1984) et ailleurs. Bien qu'elles aient été organisées et, dans une large mesure, entreprises de façon indépendante, une caractéristique notable de ces recherches est la façon dont leurs résultats concordent dans leur mise en cause des hypothèses traditionnelles concernant les relations entre "les sciences" et "le grand public" et dans leur reconceptualisation de ces relations.

Contrairement aux nombreux essais antérieurs d'exploration "de la compréhension des sciences par le grand public", qui utilisaient des techniques basées sur de grands échantillons, des méthodes d'enquêtes quantitatives et des questionnaires (Miller, 1987 ; Shortland, 1987 ; Durant, Evans et Thomas, 1989), les approches méthodologiques adoptées dans ces travaux récents ont été qualitatives et interprétatives, fondées sur l'observation de participants et des interviews en profondeur sur de petits échantillons. Un grand nombre d'études ont été "locales" et contextualisées, dans le sens où les contacts des populations observées avec la science ont eu lieu dans un cadre "quotidien", à la maison ou au travail. Parmi les participants aux quatre études menées à Leeds, on trouvait des parents qui élevaient chez eux leur enfant atteint du syndrome de Down, des personnes âgées gérant au quotidien leur utilisation de l'énergie domestique, des élus locaux confrontés à des décisions d'enlèvement de déchets toxiques, ainsi que des habitants résidant à proximité d'une usine de retraitement nucléaire (soupçonnée d'être à l'origine d'un taux élevé de cas de leucémie chez les enfants habitant aux environs) et les employés de celle-ci. Le ESRC a financé des recherches à l'université de Lancaster, sous la direction du docteur Brian Wynne, concernant des contextes tels que le service de radiologie d'un hôpital, des élevages de moutons en Cumbria, et ailleurs, pendant la période post-Tchernobyl, une enquête sur le radon conduite par un Office local de Santé ainsi que le *British Nuclear Fuel's Training College*. Une autre étude, dirigée par le professeur Hilary Rose à l'université de Bradford, a examiné les rapports aux connaissances scientifiques de patients atteints d'hypercholestérolémie, une maladie génétique. Cette recherche s'est intéressée à des groupes d'auto-assistance motivés par l'élaboration d'une compréhension utile de leur infirmité. Une autre recherche, dirigée par le docteur Alan Irwin à l'université

de Manchester, a examiné les moyens et les processus de diffusion de l'information technique concernant des sujets tels que les risques pour la santé et les menaces pour l'environnement, et surtout les facteurs influençant les réactions de groupes sociaux particuliers à cette information.

| | Passé | Présent |
|--|---|--|
| Image d'ensemble | $\begin{array}{c} S \\ \uparrow \\ \downarrow \\ T \end{array}$ Dépendance hiérarchique | $S \longleftrightarrow T$ Égalitaire, interactive |
| Principaux agents de médiation | Mots | Individus |
| RÉSULTATS | | |
| a) Pour le développement des connaissances | a) Conséquences prévisibles. T déduit les répercussions de S et leur donne une représentation matérielle. Pas de rétroaction de T sur S. | a) Pas de conséquences prévisibles. T utilise parfois S de façon créative. S utilise parfois T de façon créative. Interaction |
| b) Pour le développement des compétences et des techniques | b) S pourra utiliser librement T en tant que ressource pour la recherche | b) Ne constitue pas un sujet distinct. Interaction comme ci-dessus. |
| c) Pour l'évaluation des connaissances et des compétences | c) S évalue les découvertes de façon immuable et décontextualisée. T est évaluée en fonction de sa capacité déduire les répercussions de S. Succès de T s'il y a utilisation convenable de S. Échec de T si S est utilisée de façon incompétente. | c) S et T étant toutes les deux inventives, nécessitent toutes les deux des évaluations en termes de buts. Pas de raison <i>a priori</i> à ce que l'activité en T ne soit pas évaluée par rapport à des buts utiles à des agents de S ou vice-versa. |

Figure 2 : Relations entre le Science (S) et la Technique (T)
(d'après Barnes, 1982, p. 167)

Ce qui ressort avec force des résultats de ces différentes études est la profonde inadéquation d'une interprétation de "la compréhension des sciences par le grand public" en termes d'écart de connaissances. Selon un tel modèle, les consommateurs profanes de science font preuve de lacunes indues qui doivent être comblées par les producteurs experts de la science à partir de leur corpus de savoir unifié, cohérent, exact et indiscutable. Il s'en suit qu'une meilleure compréhension par le grand public doit être atteinte par un flux accru et unidirectionnel de connaissances de "la science" en direction des "citoyens". Ce modèle simple "du déficit cognitif" est radicalement remis en question par les résultats des recherches récentes.

Le premier point est que le caractère, tenu implicitement comme non problématique, de la science vue comme une entité agglomérée, unique, d'une importance capitale pour les activités quotidiennes, n'est pas soutenable. Concernant les travaux conduits dans le cadre des projets financés par l'ESRC, Brian Wynne a écrit que "*il n'apparaît pas de consensus clair, même parmi les scientifiques, sur ce qui constitue «la science» et sur la nature du «savoir scientifique» dans un contexte spécifique donné*" (Wynne, 1990, p. 3). Concernant une étude de Peter Glasner à l'École Polytechnique de Bristol, il constate que "*aucun «concept unifié» de la science n'a surgi d'une série d'interviews de scientifiques, de directeurs de recherche, de conseillers scientifiques et de spécialistes de l'environnement*" (Wynne, 1990, p. 6). Des désaccords existent en ce qui concerne les frontières de la science et ce qui est tenu pour savoir scientifique dans un contexte particulier. A partir de ses propres recherches sur le rôle des scientifiques dans des instances juridiques statuant sur des conflits liés à l'environnement, Wynne attire l'attention sur "*l'existence d'un désaccord portant non seulement sur les «faits» et les interprétations, mais sur ce qui constitue une approche scientifique «appropriée»*" (ibid.). Une étude menée à Leeds sur les réactions aux risques d'irradiation provenant d'une usine de retraitement de combustibles nucléaires corrobore ce point de vue. Une évaluation bio-radiologique du nombre de cas de leucémie, qui, d'après les calculs, pourraient avoir été causés par des fuites accidentelles ou délibérées de l'usine sur une période d'environ vingt ans, a reposé sur une série d'hypothèses dont toutes étaient récusables. De même, une évaluation épidémiologique du nombre de cas de leucémie identifiés dans la population infantine locale, sur la même période, s'avéra à la fois sensible au temps et marquée par des décisions arbitraires, comme le fait de savoir si ce sont les cas de décès ou de diagnostic qui doivent être relevés. Vue sous cet angle, la science commence à prendre une apparence beaucoup moins solide que celle que l'on rencontre dans de nombreux contextes formels d'enseignement. Les résultats permettent des interprétations conflictuelles et prêtent le flanc au désaccord entre experts (Macgill, 1987). Pour cette raison, on a avancé qu'une compréhension des processus internes par lesquels le savoir scientifique est généré et validé, ainsi qu'une reconnaissance de leurs faiblesses et limites constituent un élément clé de "*la compréhension des sciences par le grand public*" (Millar et Wynne, 1988).

Quant à l'importance de la science par rapport aux pratiques de la vie courante, les recherches montrent que le savoir scientifique proposé, ou accessible, aux gens est rarement utilisable sans avoir été retravaillé ou recontextualisé. Ce processus entraîne, au minimum, son intégration à d'autres savoirs, souvent situés et personnalisés, de même qu'à des jugements de différentes sortes. Les parents d'enfants atteints du syndrome de Down, par exemple, lorsqu'ils étaient informés de la probabilité de réapparition de la maladie s'ils avaient un autre enfant, incorporèrent cet élément à une matrice de considérations comprenant le désir de la mère de démontrer qu'elle pouvait avoir un enfant "nor-

mal" ainsi que des jugements sur le rôle positif que pourrait jouer un frère ou une sœur dans le développement de l'enfant atteint du syndrome de Down. Les modes d'utilisations de l'énergie domestique par les personnes âgées dépendaient non seulement de leur compréhension de la physique de la conservation de la chaleur, mais aussi de considérations relevant de l'esthétique, du confort personnel, du concept de soi, d'ordre financier ou autres (Stern et Aronson, 1984 ; Layton, Jenkins, Macgill et Davey, en cours d'impression). Wynne donne l'exemple d'éleveurs de moutons qui furent informés par des ingénieurs agronomes que leurs troupeaux évacueraient le césium radioactif plus rapidement en paissant sur les pâturages plus riches de la vallée plutôt que sur ceux des hauteurs. A la fois l'aspect pratique et la crédibilité de ces conseils furent mis en doute en raison de l'expérience des éleveurs qu'un pâturage intensif dans les herbages de la vallée aboutirait à menacer une ressource fragile d'une importance capitale pour les futurs cycles de procréation de leurs brebis (Wynne, 1990, p. 7). Il existe ici des similitudes avec les connaissances locales manifestées par les paysans de la région de l'Himalaya qui s'opposent aux conseils "scientifiques" sylvicoles visant à remplacer les arbres traditionnels par du pin et du teck d'une plus grande valeur commerciale. Leur analyse plus holistique de la situation a pris en compte des considérations plus larges, telles que le lien entre le déboisement et les inondations, ainsi que le risque de passer d'un état d'indépendance à un état de dépendance en ce qui concerne nourriture, fourrage, combustible, engrais et tissus, provenant tous des arbres Sal traditionnels dont le remplacement était proposé par les experts (Jayanta Bandyopadhyay, 1984). Les parents d'enfants atteints du syndrome de Down, les patients atteints d'hypercholestérolémie héréditaire et les communautés résidant près d'installations dangereuses ont tous construit un savoir situé qui était souvent plus fonctionnel par rapport à leurs problèmes que celui proposé de source "scientifique". Cela ne revient pas à dire que le savoir scientifique n'est pas pertinent, mais qu'il existe une interaction entre le savoir savant relativement à une situation ou à un problème donnés et les compréhensions et les dispositions que les gens mobilisent pour les confronter. En tout état de cause, il est clair que le modèle du déficit cognitif, avec son conception d'un flux univoque de connaissances scientifiques allant du producteur au consommateur représente une manière erronée de décrire cette relation.

En réalité, les gens ne font pas l'expérience du savoir scientifique comme quelque chose de libre et dégagé des liens sociaux et institutionnels. Les questions "de qui ?, d'où ? de quelle source institutionnelle ?" sont essentielles pour évaluer la crédibilité et la fiabilité du savoir. Les réponses données à ces questions, jouent donc un rôle important dans le processus d'interaction entre les "experts" et les profanes. Il ressort d'une étude faite à l'occasion d'une fuite de méthane à Leeds, que les conseillers municipaux locaux ont rarement contesté les conseils techniques que leur avaient donnés leurs responsables sur des problèmes relevant de la science de la gestion des déchets. Ils conçoivent leur rôle comme devant se limiter essentiellement à prendre en compte les conséquences politiques, économiques et sociales des décisions, les aspects scientifiques étant du ressort des spécialistes. Cette division du travail basée sur la confiance en la compétence d'autrui a été observée dans nombre d'études. On s'est aperçu que des apprentis électriciens au *British Nuclear Fuel's Training College* avaient peu de connaissances dans le domaine de la physique des matériaux radioactifs et des propriétés des rayons alpha, beta et gamma. En effet, ils jugeaient que la nécessité de ces connaissances avait déjà été satisfaite par les spécialistes qui avaient conçu l'usine et établi ses règles de fonctionnement. Alors que les apprentis avaient manifestement besoin d'apprendre et de

travailler dans le cadre des règles appropriées, ils ne jugeaient pas nécessaire de connaître leur fondement scientifique (Wynne, 1990, p. 10).

Dans d'autres cas, les origines sociales et institutionnelles du savoir scientifique proposé trahissaient, au plan des priorités et des intérêts, des valeurs tellement opposées à celles des destinataires qu'un rejet s'en est suivi. Les descriptions des manifestations mentales et physiques du syndrome de Down, fournies par les travailleurs médicaux aux nouveaux parents, souvent au moment où ceux-ci éprouvaient une douleur affective aiguë, n'étaient très souvent pas pris en compte et, dans de nombreux cas, étaient ensuite réfutés par l'expérience. "Je suppose qu'ils ont peur de vous donner de l'espoir" a admis un parent, "mais l'espoir c'est tout ce qu'il vous reste". De la même façon, les explications sur les origines chromosomiques du syndrome de Down ont été jugées hors de propos par les parents et d'une faible utilité pratique pour eux. Le fait de savoir que leur enfant avait 47 chromosomes par cellule au lieu de 46 normalement, et que cela correspondait plus à la norme qu'un cas de trisomie 21, en mosaïque ou par translocation, ne contribuait pas à résoudre les problèmes immédiats. Un tel savoir, généré, validé et standardisé au sein d'une communauté, dont la motivation première est la compréhension du monde naturel et dont le but à long terme est l'élaboration de conceptualisations générales, ne répondait pas aux besoins de parents accablés de soucis urgents dans un contexte particulier. Cette impuissance à faire preuve de sensibilité aux perspectives et aux valeurs des destinataires du savoir scientifique est illustrée par d'autres témoignages tirés des projets financés par l'ESRC. Ainsi, des agriculteurs de Cumbria refusèrent de subir une détection de radioactivité corporelle : en effet, si des taux élevés étaient découverts, il n'y avait rien d'autre à faire que s'inquiéter. En même temps, une demande d'analyse de leurs réserves d'eau, point sur lequel une intervention était possible, leur fut refusée, confortant ainsi les avis négatifs quant à la crédibilité des scientifiques à qui ils avaient affaire. Dans l'étude d'Irwin sur la compréhension de la notion de risque par le grand public, les jugements concernant la crédibilité des sources d'information scientifique apparaissent comme un facteur important dans l'interaction entre la science et ses publics (Irwin et Jupp, 1990). L'origine des "experts" et la façon dont ils délivraient leur savoir importaient autant pour son acceptabilité par des "non experts" que des considérations sur la validité de la science.

Résumant les résultats de cinq des projets de l'ESRC sur ce sujet, Brian Wynne confirme que *"l'acceptation (ou non) des sciences par le public est moins une question de capacités intellectuelles que de facteurs socio-institutionnels, qui concernent l'accessibilité sociale, la confiance et la négociation par opposition à l'imposition"* (Wynne, 1990, p. 10). De plus, de nombreuses études montrent que, quand la science est vue comme pouvant s'articuler de façon utile avec ce qui les concerne et les intéresse, les gens font preuve de capacités considérables à identifier des ressources et à traduire la science et d'autres connaissances dans des formes pertinentes pour l'action pratique. Les conséquences de ce processus peuvent parfois remettre en question la compétence scientifique dominante, en particulier en identifiant des lacunes dans le programme de recherche de la science professionnelle. Par exemple, face à des affirmations contradictoires et des expériences personnelles ambiguës, les parents d'enfants atteints du syndrome de Down ne purent trouver aucune recherche faisant autorité en ce qui concerne les effets salutaires (ou autres) d'un apport vitaminique dans le régime alimentaire de leurs enfants.

Un autre résultat des différentes études concerne le concept d'"ignorance". L'ignorance figure de façon centrale comme une caractéristique du grand public au sein d'une modélisation en termes de déficit cognitif. Sous le modèle interac-

tif, elle renvoie à une interprétation différente et, en effet (comme chez les parents ayant un enfant atteint du syndrome de Down qui refusaient les explications chromosomiques et chez les agriculteurs qui refusaient de subir une détection de radioactivité corporelle), elle se présente comme un choix positif plutôt qu'une condition déficitaire. En effet, on peut discerner des variétés d'ignorance, telle que celle provenant de l'acceptation d'une division du travail comme dans le cas des apprentis de Sellafield et des conseillers municipaux s'occupant de gestion des déchets. L'ignorance sélective est ici fonctionnelle, permettant de concentrer l'attention de façon plus efficace sur un domaine d'action spécifique. L'étude menée à l'université de Lancaster a identifié une autre forme d'ignorance, l'ignorance constitutionnelle, reflétant la façon dont les gens se désignent eux-mêmes comme manquant "d'esprit scientifique". Le fait de s'exclure des sciences pour cette raison conduit les gens à se situer eux-mêmes dans une position de dépendance par rapport à la science et à ceux qu'ils jugent être ses agents. Ils ne se situent pas dans une perspective de compréhension active parce qu'ils font confiance aux autres pour leur fournir le savoir nécessaire, au gré des circonstances (Wynne, Payne, Wakeford, 1990, pp. 11-12 et 18-19).

Il est clair que l'exigence de comprendre la science dans les termes de la science, comme le suggère le slogan de "*compréhension des sciences par le grand public*", est fondamentalement contestée par les résultats de ces études récentes. De plus, le savoir scientifique est loin d'occuper une position centrale par rapport aux pratiques de la vie quotidienne; le procès de son intégration aux jugements personnels et aux savoirs situés relègue fréquemment la science à un rôle secondaire, si cela ne lui fait pas quitter complètement la scène (comme dans les cas de "choix positif" et d'ignorance "fonctionnelle"). Cela ne consiste pas à minorer relativement l'importance du savoir scientifique dans le champ de la pratique, mais souligne la nécessité de le "retravailler" ou de le "retraduire" pour le rendre opérationnel et, en même temps, renvoie au problème discuté antérieurement des relations entre savoir scientifique et savoir technologique.

Ce bref examen des études récentes sur "*la compréhension des sciences par le grand public*" est loin d'être exhaustif et beaucoup d'autres facteurs méritent d'être pris en considération par les enseignants des sciences. Nous évoquerons ici un dernier point. L'étude menée par l'université de Lancaster s'efforça de clarifier la nature, la genèse et l'évolution des modèles mentaux que le grand public peut se construire en ce qui concerne des phénomènes et des problèmes particuliers. Comme exemple de ce qu'on entend par modèle mental, et de la façon dont il pourrait influencer le comportement, on a cité le cas d'une personne qui faisait bouillir son lait afin de le décontaminer après le passage d'une pollution venant de Tchernobyl sur sa région. On a avancé que son comportement pouvait être compris en fonction de son modèle mental de la radioactivité. Elle semblait souscrire à un "modèle microbien" de la radioactivité, structurant sa compréhension de la contamination radioactive à travers la métaphore plus familière du microbe, susceptible de causer une intoxication alimentaire, mais pouvant être détruit à la cuisson. Conformément aux conceptions actuelles en sociologie de la connaissance, de tels modèles mentaux ont été présentés comme subissant l'influence de l'interaction sociale et de l'environnement culturel, compensant ainsi une propension attribuée aux travaux précédents à valoriser excessivement la cognition individuelle et l'environnement physique.

On retrouve ici un certain nombre d'éléments communs aux recherches de tradition constructiviste, à présent nombreuses, sur les "misconceptions" ou les "conceptions alternatives" des élèves. Cela étant, il est intéressant de noter que l'équipe de Lancaster a considéré "*les tentatives d'étudier la compréhension des*

gens en termes de leurs modèles mentaux ont révélé que cet outil d'analyse n'était, d'une manière générale, pas approprié pour interpréter la compréhension de profanes" (Wynne, Payne, Wakeford, 1990, p. 7). Des problèmes d'ordre méthodologique et analytique se posèrent ; en général, la connaissance qu'ont les gens d'un aspect spécifique de la science était si "fragmentaire, si dépendante de la situation sociale et tellement imbriquée avec des connaissances relatives à d'autres problèmes (y compris des considérations de positionnement institutionnel, de politique, voire d'autres thèmes scientifiques) qu'il était impossible d'identifier des modèles mentaux stables et discrets" (ibid.). De tels modèles ne semblaient exister que dans des cas où il y avait une raison particulière de les construire. Le cas habituel était que les sujets sollicitaient "des bouts de modèles disponibles, de façon opportuniste et flexible, en fonction de la spécificité de chaque contexte" (ibid., p. 9). Loin d'être des consommateurs passifs de connaissances, ils apparaissent comme d'actifs et discriminants utilisateurs, "bricolant" * des synthèses entre des cadres d'interprétation contradictoires, transportant un savoir scientifique, issu du contexte éthéré de sa genèse, vers les contextes turbulents de son utilisation.

Le constat du caractère inapproprié de l'approche en termes de modèle mental a été considéré par les chercheurs comme un acquis positif, mais il ne surprendrait sans doute pas ceux qui sont familiers des études sur l'apprentissage des sciences chez les enfants (voir par exemple Driver, 1988, pp. 67-74) ou sur les conceptions de scientifiques et mathématiciens dans la vie quotidienne des adultes (voir par exemple Rogoff et Lave, 1984 ; Lave, 1988). Cela confirme, cependant, l'idée que "la pensée naturelle" et "le savoir en acte" sont décidément plus complexes et moins bien connus que «la pensée scientifique». Ceci interroge "la croyance largement répandue selon laquelle «la pensée scientifique» constitue un étalon convenable pour mesurer, diagnostiquer et remédier à «la pensée naturelle» telle qu'elle se manifeste dans des enquêtes et en situation scolaire" et que "la science, la scolarité et la pratique courante [correspondent à] un classement hiérarchique des types de pensée et de savoir supposés caractériser respectivement les experts professionnels, «les profanes» [...] et «les gens ordinaires»" (Lave, 1988, p. 4).

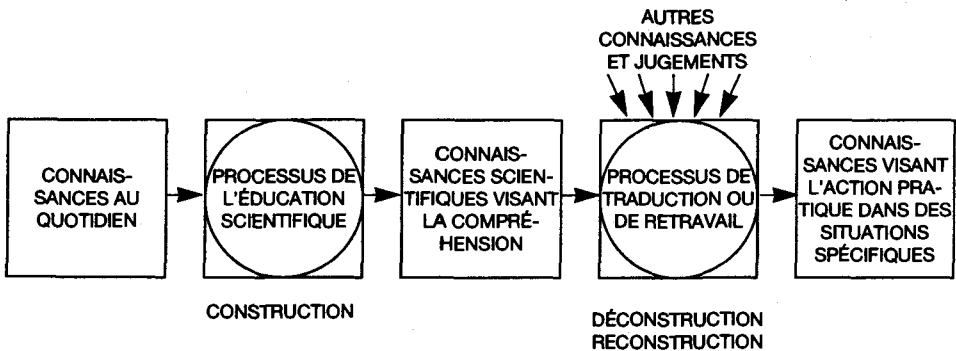


Figure 3 : Construction et Dé-Reconstruction des connaissances scientifiques

* En français dans le texte

Au cours des deux dernières décennies, de nombreuses recherches sur l'apprentissage des sciences chez les enfants ont été fondées sur une idée de l'apprentissage comme processus de construction du savoir, se développant à partir des connaissances antérieures (préconceptions, intuitions, structures alternatives) que les élèves importent dans leurs activités scolaires et qu'ils modifient progressivement jusqu'à atteindre des conceptions concordant avec "la science authentique" (Martin, Kass et Brouwer, 1990). En termes des relations décrites dans la figure 3, l'effort de recherche a porté essentiellement sur la compréhension et la transformation des processus situés du côté gauche du schéma : la construction de savoir scientifique finalisée par la compréhension. Les recherches qui ont été passées en revue ci-dessus font ressortir un nouveau problème - celui de la déconstruction et reconstruction de ce savoir scientifique pour le rendre compatible avec l'action pratique. En même temps, elles témoignent du caractère rudimentaire de notre compréhension de ce processus important.

AUTRES APPROCHES DE LA COGNITION DANS LA PRATIQUE

Bien que le débat sur la nature du savoir pratique remonte au moins à Aristote (Jonsen et Toulmin, 1988, pp. 58-64), les philosophes modernes ne s'en sont pas préoccupés. Dans un des rares livres récents qui tentent de s'attaquer à ce sujet, Barry Smith reconnaît que, plus de quarante ans après l'article de Gilbert Ryle sur "Savoir Comment et Savoir Que" en 1945, "le problème du savoir pratique n'est toujours pas parvenu à s'assurer une position solide dans le champ des problèmes que traitent les philosophes analytiques" (Nyiri et Smith, 1985, p. 1).

Certains signes, encore peu nombreux, indiquent que la situation est en train de changer. Un exemple en est l'étude de "la tradition du savoir créateur", par Antonio Pérez-Ramos, qui examine la "raison telle qu'elle se manifeste chez l'homme dans l'action délibérée (le faire/le fabriquer), surtout quand celle-ci se fonde sur les sciences naturelles" (Pérez-Ramos, 1988, p. 3). Dans une critique des formes hirstiennes de savoir et dans le contexte de discussions relatives à la technologie à l'école, Neil Bolton a fait appel aux idées de Michael Polanyi et Maurice Merleau-Ponty pour affirmer que "tout acte de savoir dépend de la pratique en tant que voie de formation d'une adhésion personnelle" et que dans l'élaboration d'un champ de connaissances, "la pratique est à la fois le fondement et la source continue de tout savoir" (Bolton, 1987, pp. 10-11). C'est cependant dans le domaine de la philosophie morale, plutôt que dans celui de l'épistémologie, que les philosophes se sont surtout intéressés aux problèmes de savoir et de raisonnement pratiques. Les récents progrès des sciences de la vie, notamment dans le domaine des manipulations génétiques, ont retenu leur attention, avec des ouvrages comme ceux de Peter Singer *Embryo experimentation* (1990), *In defense of animals* (1985) et *Applied ethics* (1986) qui ne constituent que quelques exemples d'un genre en expansion. *The abuse of casuistry. A history of moral reasoning* (1988) de Albert Jonsen et Stephen Toulmin procède du même intérêt pour les enjeux éthiques soulevés par les développements scientifiques et techniques. Nous rappelant que l'action pratique est intimement liée aux jugements moraux, la quête de Hans Jonas "d'une éthique pour le siècle de la technologie" est motivée par la conscience de ce que "la portée de nos actions augmentant, la responsabilité, dont l'objet n'est rien moins que le destin de

l'homme, se trouve déplacée vers le centre de la scène éthique" (Jonas, 1983, p. X).

Il y a eu également des incursions dans le domaine de la philosophie politique de la science, particulièrement avec l'ouvrage de Joseph Rouse *Knowledge and Power* (1987). Rouse affirme que les deux courants distincts de réflexion philosophique sur la science au vingtième siècle, l'un associé aux philosophes anglo-américains et l'autre aux philosophes européens continentaux, s'accordent, malgré des approches différentes, sur la primauté concédée aux caractéristiques intellectuelles et épistémiques de la science. En revanche, des questions été négligées, telles que celles de savoir "*pourquoi les [...] nouvelles conceptions scientifiques au cours des deux derniers siècles ont-elles été applicables si facilement et d'une manière si large*" et "*quel a été leur impact social et politique*" (p. VIII). Faisant appel aux philosophes "néo-empiristes" de la science tels que Ian Hacking, Mary Hesse et Nancy Cartwright, ainsi qu'aux idées d'autres penseurs tels que Michel Foucault, Martin Heidegger et Jürgen Habermas, Rouse se demande pourquoi certaines représentations du monde nous aident à le manipuler et à le contrôler de façon efficace. Comme il le fait remarquer, "*on ne peut pas tenir pour certain le fait qu'une connaissance accrue du monde naturel conduise inéluctablement à la rendre réellement utilisable, voire effectivement utilisée*" (p. VIII). Une grande partie de ses considérations ultérieures concerne les rapports entre savoir et pouvoir dans le petit monde du laboratoire, mais il pose la question de l'influence de la science sur la technologie et se demande si elle ne relève pas "*au moins autant de la transformation de processus, de techniques et de pratiques scientifiques pour satisfaire des intérêts extra-scientifiques, que de l'application de théories scientifiques*" (p. 24). Bien que sa vision de la "*science en tant que pouvoir hors du laboratoire*" soit intéressante, surtout par rapport aux conditions permettant un développement technologique du savoir scientifique, elle n'a qu'un impact indirect sur le problème de la nature du savoir pratique (pp. 226-36).

Les sociologues, autant que les philosophes, se sont intéressés à la nature du savoir. Les processus de sa production, de sa validation, de son organisation, de sa distribution et de son utilisation ont constitué des objets de recherche et de théorisation. Les rapports entre systèmes de savoir et action pratique n'ont cependant pas constitué un thème majeur dans la littérature, à l'exception du livre de Holzner et Marx intitulé *Knowledge Application, The Knowledge system in society* (1979) dont une citation figure en exergue de cet article. Bien qu'ils démontrent de façon convaincante que l'application du savoir est tout sauf "*une simple affaire routinière de calcul et de rationalisation*" (p. 261) et qu'ils incluent parmi leurs exemples quelques-uns tirés des domaines de la science et de la technique, leur préoccupation est d'ordre général et non spécifique à un domaine particulier du savoir.

C'est en nous tournant vers la psychologie, cependant, que nous pouvons trouver un courant de recherche développé qui semble être comparable et, dans une certaine mesure convergeant, avec les travaux évoqués plus haut sur l'histoire et la philosophie de la technique et sur la compréhension de la science par le grand public. Ce courant prend des noms différents tels que "*cognition quotidienne*" (Rogoff et Lave, 1984), "*cognition en pratique*" (Lave, 1988) et "*compréhension quotidienne*" (Semin et Gergen, 1990). Les aspects sur lesquels l'accent est mis peuvent varier, mais le rôle important du contexte dans les activités cognitives constitue la caractéristique distinctive d'une grande partie de ces travaux.

Le recueil de onze conférences édité par Rogoff et Lave (1984) représente un point de repère dans le domaine. Il réunit des psychologues du développement, des anthropologues, des sociologues et des informaticiens, qui s'intéressent au développement de la pensée dans des situations pratiques telles que une usine de transformation du lait, une piste de ski pour débutants, un supermarché ainsi que des contextes d'enseignement plus habituels. Certains de ces travaux ont pour origine des observations transculturelles, mettant en évidence le fait que des sujets éprouvant des difficultés à manifester une habileté particulière dans le cadre formel d'un laboratoire pouvaient néanmoins faire preuve de cette habileté dans leurs activités quotidiennes. Cela n'est pas à interpréter comme la preuve de l'existence d'une compétence cognitive réelle ne pouvant être dévoilée que si le contexte était correctement structuré ou, d'une certaine façon, susceptible d'être contrôlé. Le laboratoire n'équivait pas à une absence de contexte et comme Rogoff et Lave le montrent, *"le contexte est une composante intégrale des événements cognitifs, et non pas une variable parasite"* (p. 3). Leur position est que *"la pensée est liée de façon intime au contexte du problème à résoudre"* (p. 2). Suivant Vygotsky, elles considèrent l'activité cognitive comme *"socialement définie, interprétée et déterminée"* au sens où *"l'interaction avec d'autres personnes et l'usage d'outils et de schèmes sociaux de résolution de problèmes sont au cœur des contextes quotidiens dans lesquels elle se produit"* (p. 4).

Les faits rassemblés par les auteurs du recueil de Rogoff et Lave étayaient la conclusion selon laquelle *"penser est une activité pratique ajustée aux exigences de la situation"*. Dans les situations quotidiennes où l'action pratique est requise, *"les individus mettent en œuvre des solutions opportunistes satisfaisantes"*, qui loin d'être *"illogiques et brouillonnes"*, sont *"sensées et efficaces dans leur approche du problème pratique"* (p. 7). Leurs résultats rejoignent ceux des travaux récents sur la compréhension des sciences par le grand public.

Utilisant plus particulièrement les résultats de son *Adult Math Project*, mais aussi d'autres recherches, le nouveau livre de Jean Lave, *Cognition in Practice* (1988) pousse plus avant la réflexion. *"La cognition observée dans la pratique quotidienne"*, avance-t-elle, *"est une activité distribuée - déployée, et non pas divisée entre - le corps, l'esprit et des environnements organisés culturellement (qui incluent d'autres acteurs)"*. Il n'y a pas de disjonction entre "la théorie" et "la pratique". A partir d'exemples tirés de l'étude des calculs que les "gens ordinaires" (terme utilisé avec une ironie délibérée, particulièrement à l'égard de la condescendance dont font preuve les "experts" en face de penseurs "profanes") effectuent lorsqu'ils font leurs courses à l'épicerie ou quand ils mesurent les calories de leur régime, elle montre que, dans un même mouvement, les problèmes sont déterminés en fonction des réponses alors que simultanément les réponses s'élaborent pendant que les problèmes prennent forme. A la fois le problème et la question prennent leur forme **dans l'action** dans un contexte particulier, naturaliste et culturellement structuré. Le savoir syncrétique qui est construit dans la pratique quotidienne présente des similarités avec le savoir technologique tel qu'il a été détaillé plus haut. Selon Rogoff, *"le but de la cognition n'est pas de produire des pensées, mais de guider intelligemment des actions pratiques interpersonnelles et collectives"* (1990, p. 9).

Une orientation récente de ce courant de recherche s'intéresse à la pensée des enseignants dans les contextes spécifiques des salles de classe et des laboratoires. Selon Calderhead (1988, p. 54), nous savons relativement peu de choses du savoir pratique des enseignants (*"le savoir qui est directement lié à l'action"*) si ce n'est qu'il est *"qualitativement différent des connaissances théoriques for-*

nelles, des connaissances académiques ou des connaissances de contenu". Dans un article intitulé "An appropriate conception of teaching science : a view from studies of science learning", Peter et Mariana Hewson (1988, p. 608) citent le point de vue de Lee Shulman selon lequel il faut examiner en détail l'articulation, chez les enseignants, entre leurs connaissances relatives au contenu et le savoir pédagogique qu'ils mettent en œuvre "quand ils représentent et formulent un contenu pour le rendre compréhensible aux autres". Ce savoir pédagogique inclut "une compréhension par les enseignants [...] des conceptions que les élèves d'âge et d'origine différents importent dans la classe, ainsi que les stratégies [...] les plus éprouvées pour modifier les structures de compréhension des apprenants". Pamela Grossman, Susanne Wilson et Lee Shulman (1989, p. 32) dans un article basé sur la recherche entreprise dans le cadre du projet *Knowledge Growth in a Profession* concluent que "un des premiers défis auxquels se trouvent confrontés les professeurs débutants concerne la transformation que doit opérer l'enseignement pour passer des connaissances spécifiques de la discipline à enseigner à des formes de connaissances qui sont appropriées aux étudiants et spécifiques de la tâche d'enseigner. La capacité de transformer la connaissance du sujet nécessite plus que la connaissance du contenu et de la syntaxe de sa discipline ; cela nécessite la connaissance des apprenants et de l'apprentissage, des programmes scolaires et du contexte, des buts et des objectifs de la pédagogie. Cela nécessite également une connaissance de la pédagogie spécifique à chaque matière. En utilisant quantité de différents types de savoirs et d'habiletés [...] les professeurs transforment leurs connaissances du contenu en des représentations instructionnelles". Ces transformations peuvent être complexes (Wilson, Shulman et Richert, 1987) et sont souvent sous-estimées.

QUELQUES CONSÉQUENCES POUR L'ÉDUCATION SCIENTIFIQUE

Conséquences relatives au savoir scientifique

A partir des travaux examinés ci-dessus, on retrouve souvent l'idée que le savoir scientifique tel qu'on le rencontre dans des environnements éducatifs formels, a besoin d'être retravaillé et intégré à d'autres formes de connaissances et de jugements si l'on veut qu'il soit fonctionnel pour l'action pratique. L'expression familière de "science appliquée" n'indique pas suffisamment la nature de la transformation entraînée. Une expression en termes de "traduire" ou de "retravailler" la science suggère mieux la complexité du processus. Cependant, il faut reconnaître que nous n'en comprenons pas encore entièrement le processus; cet aspect sera développé dans la partie suivante traitant des conséquences pour la recherche.

Les changements de contexte, dans lequel l'éducation scientifique se déroule à l'école, ont conduit à réexaminer la nature des articulations entre les sciences enseignées et l'action pratique (Layton, 1990b). Un facteur particulier a été l'émergence, dans de nombreux pays, de la technologie comme composante de l'enseignement général, ainsi que la priorité accordée à l'acquisition de compétences pratiques comme finalité de l'école. Comme Peter Fensham (1991) l'a montré, leur relation avec l'enseignement de la technologie deviendra, pour les professeurs de sciences, un problème crucial dans les années à venir. Tant que l'enseignement scientifique limitait son incursion dans la technique à l'étude des principes physiques mis en œuvre dans les objets fabriqués ou dans les applications industrielles ou domestiques, il n'y avait pas lieu de retravailler les

concepts scientifiques dans la perspective de l'action pratique. Si au contraire, on souhaite donner aux élèves un pouvoir d'intervention opérationnelle et finalisée sur l'univers fabriqué, alors il faut changer de point de vue.

Il y a, bien sûr, des transformations relativement directes qui peuvent favoriser l'articulation des connaissances scientifiques avec la pratique. Par exemple, les pathologies causées par la pollution de l'eau d'origine fécale sont à l'origine d'un pourcentage élevé des maladies dans les pays en voie de développement, de sorte que la conception et la mise en œuvre d'interventions pour maîtriser ces maladies sont d'une grande importance pratique. Cependant, la classification biologique de telles maladies repose sur la distinction des agents pathogènes tels que les virus, les bactéries, les protozoaires ou les helminthes. Cette classification est beaucoup moins utile, comme base d'action, qu'une classification de type écologique distinguant des ensembles de maladies selon leur modes de transmission dans l'environnement. En réélaborant le savoir sous cette forme, on peut déterminer clairement si, par exemple, la priorité dans les efforts visant à améliorer l'hygiène et la qualité de la vie doit être de fournir un approvisionnement fiable en eau ou, au contraire, des équipements sanitaires améliorés (Mara, 1983, pp. 48-49). De la même façon, les pharmacologues, pour leurs besoins, ne classent pas les substances chimiques comme le font les chimistes, en termes de structures moléculaires ou de groupes fonctionnels ; leur classement est fonction des réactions de l'organisme à ces produits chimiques, c'est-à-dire en termes de stimulants, dépresseurs, décongestionnants, analgésiques, vasodilatateurs.

D'autres processus de transformation concernent :

- l'adaptation du niveau d'abstraction du savoir scientifique (par exemple, peu de situations pratiques dans la vie courante ou dans l'industrie, impliquant l'utilisation d'acides, nécessitent une compréhension du modèle d'échange de protons) ;
- "le reconditionnement" du savoir, afin de réintroduire des relations fructueuses entre les composantes du savoir scientifique que des considérations pédagogiques ou disciplinaires ont séparées ;
- et "la recontextualisation", dans le sens de réinstaurer dans la science toutes les "complexités" du réel et qui ont été mises de côté lors de la constitution scientifique du problème.

Un autre procédé consiste à "compacter" des données afin de produire un mode de mesure pratique. En Grande-Bretagne, le *National Home Energy Rating* (NHER : une échelle de dix degrés) de la *National Energy Foundation* en est un bon exemple, le but étant de fournir aux architectes, aux entrepreneurs et aux experts les moyens de calculer le bilan énergétique d'une habitation, un total de dix indiquant un très bon rendement énergétique (Clover, 1990). On annonce aussi l'élaboration prochaine d'une échelle standard permettant d'indiquer à la fois la magnitude des accidents nucléaires, l'impact intérieur et extérieur au site, ainsi que l'étendue des avaries subies par les dispositifs de sécurité (*Financial Times*, 1990). Sur une échelle de sept degrés, on estime que Tchernobyl atteindrait la cote maximale, alors que Three Mile Island et Windscale 1957 se situeraient à cinq. De tels moyens de mesure, bien qu'ils aient des buts pratiques, ne figureront vraisemblablement pas dans des manuels de physique ou des tables de biologie, chimie ou physique.

Un problème important se pose à l'examen de ces différents processus de conditionnement des savoirs scientifiques. Les paramètres de conception en vue de l'action pratique ne correspondent pas nécessairement aux paramètres scientifiques. Les concepts d'"inductance de fuite" et d'"admittance du primaire"

chez Steinmetz, grâce auxquels il a été capable de concevoir de manière plus efficace, et de calculer de façon plus précise, les performances de moteurs à induction à courant alternatif (car les fuites magnétiques, les pertes d'hystérésis et les courants de Foucault étaient mieux représentés par ces modèles que dans la théorie de Maxwell) furent critiqués par des physiciens de l'époque comme étant des paramètres empiriques plutôt que fondamentaux (Kline, 1987, pp. 305-307). Le fait d'employer des concepts tels que "éblouissement incapacitant" et "éblouissement gênant", bien que ne figurant pas dans les manuels scolaires sur la lumière, est utile aux concepteurs d'éclairages d'intérieurs. Ceux qui œuvraient au début du dix-neuvième siècle à la conception et à la construction de locomotives à vapeur disposaient de conseils théoriques très précieux dans des ouvrages maintenant oubliés tels que celui du Comte de Pambours (1837) intitulé *Théorie de la machine à vapeur*. Il utilisait des paramètres de conception comme la charge (c'est-à-dire la résistance de la locomotive), la vitesse (c'est-à-dire le nombre de tours/minute) et la capacité d'évaporation de la chaudière pour produire une théorie générale qui permettait la construction de locomotives en fonction de la puissance désirée. Par opposition, la théorie de son contemporain Sadi Carnot était indépendante des caractéristiques de conception, des matériaux et des mécanismes mis en œuvre et reposait entièrement sur des principes physiques. Elle traitait uniquement des rapports entre les entrées thermiques et les sorties travail. Bien qu'elle permit de calculer le rendement d'une locomotive et eut des répercussions sur l'agencement fonctionnel (par exemple, la température du condensateur devait rester aussi basse que possible), cette théorie n'avait aucune pertinence pratique directe pour la construction d'un moteur destiné à exécuter telle tâche donnée (Kroes, 1990).

Que devraient faire les professeurs de science de tout cela ? Ne devraient-ils pas, au moins, aider leurs élèves à comprendre la nécessité d'une transformation des connaissances scientifiques si elles sont destinées à être utilisées dans des situations pratiques ? La collaboration de professeurs de technologie pour proposer aux étudiants des situations où la science serait intégrée à des activités de conception et de production semblerait aussi souhaitable. Mais la prise de conscience du fait que les paramètres de conception sont souvent spécifiques à des situations pratiques particulières et ont peu de validité en dehors d'elles est également importante. La théorie de de Pambours avait un domaine d'application limité et était pertinente pour les locomotives à vapeur de son époque. La théorie élaborée par Carnot et les lois de la thermodynamique ont un caractère plus universel et plus durable.

Conséquences pour la pédagogie

L'engagement des élèves dans des activités qui favorisent le développement progressif des compétences pratiques a une portée pédagogique qui concerne tous les enseignements, et pas seulement sur ceux de science. A un premier niveau, cela représente une évolution majeure des objectifs de l'école qui jusqu'ici ont considéré, le plus souvent, l'action pratique comme étant étrangère à l'institution. Elle constitue donc un défi à ce que Barbara Rogoff (1990, p. 191) a décrit comme "la tradition euro-américaine de l'école, qui favorise une approche des outils de pensée, à la fois analytique et centrée sur l'individu, et qui promeut les raisonnements et les apprentissages portant sur des savoirs considérées pour eux-mêmes et abstraits de leur mise en œuvre pratique". Autrement dit, en sommant l'école de promouvoir un réengagement du savoir dans des probléma-

tiques pratiques et quotidiennes, on remet en cause son rôle en tant qu'institution historiquement investie de la tâche de décontextualiser le savoir.

Un examen détaillé des conséquences pédagogiques de ce changement est hors de la portée de cet article. Donald Schön (1987) a consacré un livre à l'explication de son concept de *"praticum réflexif"*, c'est-à-dire les moyens pédagogiques par lesquels il serait possible de réconcilier les savoirs disciplinaires et les compétences pratiques et cela essentiellement au sein des domaines spécifiques de l'enseignement supérieur. En ce qui concerne les élèves plus jeunes, et plus généralement au niveau historique, le mode traditionnel d'acquisition des compétences pratiques est celui de l'apprentissage (de type compagnonnage).

Il est donc intéressant de découvrir des psychologues qui s'intéressent à *"la pensée en tant qu'elle sous-tend l'action efficace dans le monde physique et interpersonnel"*, en adoptant la métaphore de l'apprentissage pour rendre compte du développement cognitif. Leur démarche s'inspire du modèle de Vygotsky qui rend compte des mécanismes par lesquels les interactions sociales favorisent le développement cognitif. Sous ce modèle, *"un novice travaille en étroite collaboration avec un expert à la résolution conjointe de problèmes dans la zone de développement proximal [...] Le développement se fait par l'incorporation par le novice des processus cognitifs partagés, et à travers l'accroissement des habiletés et des connaissances existantes par appropriation de ce qui a été réalisé en collaboration"* (Rogoff, 1990, p. 141). Dans ce cas, *"le développement cognitif de l'enfant s'apparente à un apprentissage. Il se déroule à travers une participation à des activités socialement constituées, guidées par des compagnons qui soutiennent et étendent sa compréhension et son usage des outils de sa culture"* (ibid., p. VII). Et comme V. John-Steiner (1985, p. 200) l'a noté, *"c'est seulement grâce à une collaboration étroite que le novice peut apprendre ce que son mentor ne sait peut être même pas : comment il ou elle formule une question ou initie un nouveau projet"*.

Une question qui surgit immédiatement est celle de la mise en œuvre d'une telle pédagogie de l'apprentissage dans un système d'éducation de masse, avec des classes de trente enfants et souvent plus. D'un autre côté, bien qu'il soit vrai qu'une grande partie de l'activité pratique gagne à être effectuée en collaboration, comme c'est le cas dans l'enseignement de la technologie à l'école, la présence d'un partenaire n'est pas toujours efficace. Rogoff (1990, p. 163) fait remarquer que *"dans certains cas, la présence d'un partenaire va être source de distraction, et l'attention se focalise sur la division du travail ou sur des problèmes sociaux plutôt que sur l'aide à apporter. Certaines tâches pourront s'avérer trop difficiles à coordonner avec une autre personne, et cela pourra être particulièrement vrai chez les jeunes enfants"*. Les difficultés sont aggravées parce que nous manquons de cadres efficaces pour analyser les tâches pratiques en ce qui concerne leurs exigences pour les apprenants, notamment au plan cognitif. Dans un compte-rendu de travaux sur l'analyse de la tâche de formation, Michael Gardner a identifié trois caractéristiques de ces tâches : les composantes de la performance, la structure des connaissances et les connaissances métacognitives, mais il a reconnu le succès limité obtenu jusqu'à présent dans la définition des composantes de la performance générale dans des tâches complexes, telles qu'on les rencontre dans la technologie à l'école (Gardner, 1985, p. 188). De la même façon, les voies de progression, en ce qui concerne le développement des compétences techniques en conception, restent dans une large mesure inexplorées, bien qu'on assiste à quelques tentatives dans ce domaine (Black, 1990). La dimension conative est ici d'une importance particulière et Mary Budd Rowe (1983), dans une des rares discussions de ce

sujet en rapport à l'éducation scientifique, l'a appelé "*contrôle du destin*". Ceci renvoie à la prise de conscience que les phénomènes sociaux et physiques dans le monde sont déterminés par des circonstances qui peuvent être découvertes, analysées et maîtrisées, et que les interventions pragmatiques sont dignes d'intérêt et à la portée des compétences d'individus ou de groupes. Si, comme cela semble probable, il est essentiel pour le développement des compétences pratiques d'acquérir une confiance dans sa capacité à "construire" des problèmes, à concevoir des solutions possibles et à les réaliser matériellement, alors une pédagogie "compagnonnique" permettant l'émulation et la participation guidée, quelle que soit sa forme et la difficulté à la mettre en oeuvre, s'avère nécessaire. Comme les exigences de la vie scolaire, notamment les contraintes de ressources et de responsabilité, déterminent de façon importante la pratique quotidienne des professeurs (Denscombe, 1980), les conséquences pour les structures institutionnelles doivent être examinées.

Conséquences pour les structures institutionnelles

La notion d'interaction est centrale à chacun des trois domaines de recherche passés en revue ci-dessus. L'interaction entre la science et la technique est essentielle à toute compréhension de la nature du savoir technologique ; l'interaction entre les producteurs et les consommateurs de science est un élément décisif pour expliquer comment le grand public "comprend" la science ; et l'interaction entre les apprenants et les "autres acteurs sociaux", à la fois les personnes et les contextes, est une dimension essentielle de la cognition en pratique. A l'opposé, les institutions éducatives reflètent trop souvent ces relations en termes de hiérarchie, leur structure véhiculant une vision, tout au moins implicite, de la supériorité de la compréhension scientifique sur toutes les autres formes de compréhension, et une organisation descendante et compartimentée du savoir (Gergen et Semín, 1990, p. 2). La question se pose donc de la nature des structures institutionnelles susceptibles de favoriser efficacement les relations interactives qui semblent nécessaires pour que l'éducation scientifique s'articule à la pratique et participe à un développement élargi des compétences pratiques des apprenants.

Des tentatives de transformation d'environnements éducatifs existants, entraînant la collaboration des enseignants, le partage des ressources, les horaires bloqués, des dispositions facilitant la multiplication de projets de groupes chez les élèves et un apprentissage piloté par le contexte plutôt que par la matière ont été décrites ailleurs (Mc Cormick, 1987 et 1990 ; Smith, 1989 ; Medway, 1989 ; Layton, Medway et Yeomans, 1989 ; Murray, 1990). Nous ne les reprendrons pas ici. De même, de nombreux exemples de collaboration locale entre des écoles et d'autres acteurs, y compris des sociétés industrielles, des universités et des musées, dans le but de stimuler l'éducation scientifique, même sans la lier aux compétences pratiques, ont été étudiés par Myron et Ann Atkin (1989).

Au-delà, on assiste cependant à l'émergence d'alternatives plus radicales aux structures éducatives actuelles. En Grande-Bretagne, la *Nuffield Foundation* a subventionné le développement de boutiques de science à Belfast et Liverpool. A Londres, Manchester et ailleurs, des Centres de Risques ont été créés pour mettre à disposition du public des informations objectives relatives au travail, au logement et à l'environnement. Aux États-Unis, les *Public Service Science Centres* ont été, pendant un certain temps, financés par la *National Science Foundation* (Hollander, 1984). Dès 1979, le gouvernement néerlandais s'est déclaré favorable au libre accès des groupes défavorisés à la recherche universitaire grâce à des boutiques de science. Aujourd'hui, l'université de technologie

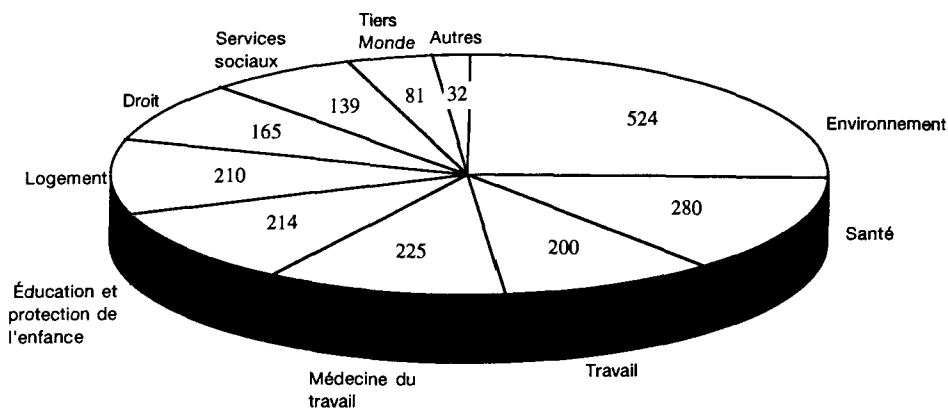


Figure 4 : Analyse de 2 070 questions posées à la boutique de science de l'université d'Amsterdam entre 1977 et 1986

d'Eindhoven dirige huit boutiques différentes de conseil en chimie, physique, architecture, santé, ingénierie mécanique, ingénierie électrique, commerce et technologie et société. Celles-ci s'adressent notamment aux "moins favorisés, y compris aux militants écologistes, aux groupes locaux, aux petites industries, aux syndicats, aux groupes d'action, aux handicapés ou aux locataires" (Eindhoven University, 1990). Une analyse de 2070 questions adressées à la première boutique de science de l'université d'Eindhoven, entre 1977 et 1986, figure dans la figure 4 (Brock, 1987).

La caractéristique des boutiques de science est que l'interaction commence par la formulation, par le client lui-même, d'un problème ou d'une question. Le choix des questions peut être ici considérable. Les questions adressées à la boutique de l'université d'Amsterdam étaient du type : quelles sont les conséquences sur l'environnement des rejets de lait occasionnés par les grèves dans l'industrie laitière ? Est-ce que les champs électromagnétiques produits par les lignes à haute tension sont nocifs ? Est-ce qu'une dramatisation de l'information favoriserait dans l'opinion une opposition plus vive à la torture des prisonniers politiques ? Est-ce que les ultraviolets utilisés pour le séchage dans l'imprimerie offset sont nocifs pour les ouvriers ? Le boutiquier agit comme un courtier en savoir, mettant des clients en relation avec des "experts" dans des universités ou ailleurs. Dans la réalité, on ne peut pas trouver de réponses "toutes faites" à toutes les questions. Environ un tiers des questions nécessitent des recherches nouvelles ou, au moins, de retravailler et compléter les résultats de recherches existantes et cela amène au problème du financement de ces boutiques. Les boutiques aux Pays-Bas sont gratuites pour les usagers mais cela n'est pas toujours le cas pour leurs équivalents dans d'autres pays. D'un point de vue éducatif, cependant, la caractéristique intéressante est la façon dont un dispositif institutionnel conduit à articuler le savoir scientifique et la pratique. Du côté de la science, cela entraîne une sorte d'atteinte à sa souveraineté quant à l'orientation de la recherche et des craintes concernant son contrôle et son intégrité. Du côté des usagers, les boutiques représentent un accès à "la tour d'ivoire" et l'occasion de rencontrer la science selon leurs propres termes et non selon ceux de la science professionnelle.

Des variantes intéressantes de ces "alternatives" apparaissent, de façon indépendante, dans les pays en voie de développement. King (1986) en a décrit quelques-unes en Inde, parmi lesquelles le *Kerala People's Science Movement* qui milite en faveur de "la science en tant qu'activisme social" et le *Medico Friends Circle* qui, après Bhopal, a réussi à intégrer les connaissances et la douleur des gens dans la description scientifique des événements. En Afrique, le *Forum on Children's Scientific and Technological Literacy*, récemment créé, a pour but d'accroître la maîtrise des gens afin qu'ils aient la capacité "d'évaluer, de contrôler et de bénéficier de l'ensemble des interventions techniques dont ils font actuellement l'objet". Un des principes de ce programme est que "les avantages potentiels n'ont des chances de se réaliser que s'ils sont fondés sur une forme de compréhension populaire de la science et de la technologie qui soit enracinée dans la culture populaire et intégrée à la pensée autochtone et aux valeurs des communautés" (Court, 1989).

Les conséquences pour la recherche

Le constat du caractère inexploré des processus d'application du savoir scientifique n'est pas un fait nouveau. Il y a plus de cinquante ans, R.S. Silver, chercheur dans l'industrie, s'est intéressé au problème de savoir par quel cheminement la science était devenue une ressource utile aux entreprises industrielles. Son souci était en partie éducatif, parce qu'il critiquait l'absence de tentative d'initier explicitement les étudiants à la façon de mener à bien la tâche "de synthétiser la science abstraite sous différentes formes expérimentelles" c'est-à-dire dans des applications technologiques singulières. Les étudiants arrivant dans le monde industriel n'avaient aucune idée sur la façon d'appliquer leurs connaissances abstraites aux problèmes qui se présentaient à eux. Certains, souvent au terme d'un délai considérable, finissaient par "découvrir" les processus d'application, "grâce à la capacité naturelle des êtres humains". Silver plaidait pour une approche formelle des processus d'application technique dans leur formation initiale (Silver, 1949).

Bien sûr, la connaissance de la nature du processus, même si elle était disponible, n'équivaut pas à savoir le mettre en œuvre en vue d'un résultat désiré et encore moins à garantir une intention d'agir. Comme Hines et Hungerford (1984, p. 127) le soulignent dans le domaine des sciences de l'environnement, "la connaissance seule, même si elle détermine étroitement toute intervention écologique responsable, ne suffit pas à prédisposer les individus à vouloir remédier aux problèmes de l'environnement". Les composantes essentielles des compétences pratiques sont conatives autant que cognitives.

Dans une perspective cognitive, cependant, comme l'a montré Staudenmaier (1985, p. 111), le défi fondamental consiste à comprendre la nature du processus par lequel, un dessein technique, au sens large, s'intègre aux contraintes spécifiques d'un contexte pour produire un résultat singulier, artefact ou action pratique. Pour l'éducation scientifique, le rôle de la connaissance et de la technique scientifique dans ce processus est une question particulièrement intéressante. Bien que de nombreux travaux aient été consacrés à la résolution de problèmes mettant en œuvre la science (Garrett, 1986), rares sont ceux portant sur des problèmes techniques ou impliquant une action pratique. La compréhension du processus et de ses caractéristiques développementales nous font défaut.

Des travaux récents effectués par des historiens de la technique en collaboration avec des psychologues spécialistes du développement cognitif peuvent apporter ici un éclairage précieux en suggérant, au moins, un cadre conceptuel

pour étudier la façon dont des élèves de niveaux scolaires différents s'engagent cognitivement dans des tâches techniques ou de conception. Dans leur interprétation de l'invention en tant que processus cognitif, Bernard Carlson et Michael Gorman (1990) distinguent trois ensembles interconnectés: des modèles mentaux, des heuristiques et des représentations mécaniques. Avec Donald Norman et d'autres chercheurs, ils considèrent les modèles mentaux comme des visualisations dynamiques, souvent incomplètes et instables qui *"peuvent être regardés mentalement"* (ibid., p. 390). Ils pensent qu'un inventeur *"possède un modèle mental qui incorpore ses hypothèses sur la façon dont un dispositif pourrait matériellement fonctionner"* (Gorman et Carlson, 1990, p. 136). A ce sujet, il faut rappeler le rejet par Wynne d'une approche en termes de modèles mentaux de la compréhension de la science par le grand public, ainsi que les phénomènes de cognition en pratique (Lave, 1988) qui suggèrent l'existence d'un processus constructif et interactif. Comme Carlson et Gorman le reconnaissent, il n'est pas possible d'acquérir des indications directes de l'existence de modèles mentaux chez les inventeurs et ceux-ci doivent être inférés de graphismes, d'artefacts et autres sources historiques. Leur conception diffère cependant des modèles stables et discrets que les chercheurs de l'université de Lancaster évoquaient, les leurs étant de nature plus variable, éphémère et adaptative.

Par heuristique, ils entendent *"les directions de recherche qu'un inventeur choisit de poursuivre, la façon dont il délègue à ses assistants une partie du travail et dont il utilise notes, modèles et graphismes"* (Carlson et Gorman, 1990, p. 392), bref, la façon dont la réalisation de la représentation est entreprise. Transposées en termes d'activités scolaires, les stratégies des élèves de technologie se retrouveraient sous cette rubrique, ainsi que leurs problèmes de relations avec les autres élèves, la division du travail dans un groupe, la procédure par laquelle les tâches sont distribuées, ainsi que les ressources en connaissances techniques disponibles. Il y a des questions intéressantes à se poser sur la perception qu'ont les élèves de ce qu'ils font et la perception qu'en ont les professeurs. La façon dont une pensée spécifique, limitée à des sous-tâches, progresse vers une pensée stratégique à un niveau méta reste dans une large mesure inexplorée (Alexander et Judy, 1988).

Bien que Carlson et Gorman appellent le troisième aspect de leur cadre d'interprétation *"les représentations mécaniques"*, on pourrait les décrire plus précisément comme des représentations matérielles car le terme est destiné à englober beaucoup plus que des dispositifs mécaniques. Ce terme désigne tout "composant" manipulé pendant l'activité de conception en vue du développement d'un produit que celui-ci soit un objet fabriqué, un environnement ou un système. Ce qui est davantage intéressant, c'est qu'il semblerait que de nombreux inventeurs reconnus se soient construit un répertoire de "représentations matérielles" qu'ils utilisent maintes et maintes fois et qui constituent une marque de leurs capacités. L'interaction caractéristique entre ces trois aspects, les modèles mentaux, les heuristiques et les représentations matérielles constitue le style d'un inventeur, d'après Carlson et Gorman.

Une invention est l'analogie technique d'une théorie en science. Le fait de considérer l'acte d'inventer comme un processus cognitif révèle des lacunes considérables dans notre compréhension du phénomène. En même temps, cela ouvre des perspectives sur une conception de l'éducation scientifique qui interagirait de façon productive avec l'enseignement technologique dans les écoles. Chacun des trois aspects du processus cognitif d'invention pourrait être influencé par ce qui est appris en cours de sciences. Les origines et les formes

de la représentation de ce qui est possible, la façon dont sont perçues les interventions dans le monde des objets fabriqués proviennent, dans une large mesure, des compréhensions du monde naturel telles qu'elles ont été mises en scène par la science. Nous ne savons pas dans quelle mesure les heuristiques, grâce auxquelles des réalisations pratiques sont effectuées, ont des caractéristiques communes avec les heuristiques de l'activité scientifique, mais le rôle des connaissances scientifiques en tant que ressources, à la fois pour la réalisation pratique de modèles mentaux et pour les représentations matérielles qui sont employées, n'est pas mis en doute, bien que, comme nous l'avons vu, des transformations soient habituellement nécessaires.

Ce qui est également tout à fait clair, c'est qu'un programme considérable de recherches reste à être engagé à l'interface de l'éducation scientifique et de la *praxis*, et notamment en ce qui concerne l'éducation scientifique et l'enseignement technologique.

David LAYTON
Université de Leeds, Grande-Bretagne

La revue Aster remercie l'auteur et la rédaction de Studies in Science Education, qui ont aimablement accordé l'autorisation de publication de cet article en français. La traduction a été assurée par Aline Espéret, avec la collaboration de Pierre Verillon.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AITKEN, H. G. J. (1978) Science, technology and economics : the study of radio as a case study, in W. Krohn, E. T. Layton Jr. and P. Weingart (eds) *The dynamics of science and technology*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, pp. 89-111.
- AITKEN, H. G. J. (1985) *Syntony and spark. The origins of radio*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- ALEXANDER, P. A. and JUDY, J. E. (1988) The interaction of domain-specific and strategic knowledge in academic performance, *Review of Educational Research*, volume 58, number 4, pp. 375-404.
- ATKIN, J. M. and ATKIN, A. (1989) *Improving science education through local alliances. A report to the Carnegie Corporation of New York*, Network Publications, Santa Cruz, CA.
- BACON, F. (1905) *The philosophical works of Francis Bacon*. Reprinted from the texts and translations of Ellis and Spedding. Edited by J. M. Robertson. G. Routledge and Sons, London.
- BARNES, B. (1982) The science-technology relationship : a model and a query, *Social Studies of Science*, volume 12, pp. 166-72.
- BLACK, P. (1990) Implementing technology in the National Curriculum, in *Technology in the National Curriculum, Key issues in implementation*, The Standing Conference on Schools' Science and Technology and DATA, London.

BÖHME, G., VAN DER DAELE, W. and KROHN, W. (1978) The 'scientification' of technology, in W. Krohn, E. T. Layton Jr. and P. Weingart (eds) *The dynamics of science and technology*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, pp. 219-50.

BOLTON, N. (1987) Technology across the curriculum, in *Technology Education Project. Paper I*. Papers submitted to the Consultation held on 15 and 16 November 1985, St. William's Foundation, 5 College Street, York, YO1 2JF.

BROCK, R. M. (1987) Pragmatism replaces revolutionary ardour. Science shops ten years on ; now a feature of the landscape, *Science Policy in the Netherlands*, volume 9, number 5, pp. 9-10.

BUCHANAN, R. A. (1986) Education or training ? The dilemma of British engineering in the 19th. century, in M. Kranzberg (ed.) *Technological education – technological style*, San Francisco Press, San Francisco, pp. 69-73.

BUD, R. F. and ROBERTS, G. K. (1984) *Science versus practice*. Manchester University Press, Manchester.

CALDERHEAD, J. (1988) The development of knowledge structures to teach, in J. Calderhead (ed.) *Teachers' professional learning*, Falmer Press, London, pp. 51-64.

CARDWELL, D. S. L. (1972a) *Technology, science and history*, Heinemann, London.

CARDWELL, D. S. L. (1972b) *The organisation of science in England*, revised edition, Heinemann, London.

CARLSON, W. B. and GORMAN, M. E. (1990) Understanding invention as a cognitive process. The case of Thomas Edison and early motion pictures, 1888-91, *Social Studies of Science*, volume 20, pp. 387-430.

CHANNELL, D. E. (1982) The harmony of theory and practice : the engineering science of W. J. M. Rankine, *Technology and Culture*, volume 23, pp. 39-52.

CLOVER, C. (1990) Heating takes a beating around the home, *The Daily Telegraph*, 23 July 1990, p. 17.

CONSTANT, E. W. (1980) *The origins of the turbojet revolution*, John Hopkins University Press, Baltimore.

COURT, D. (1989) Forum on children's scientific and technological literacy, *Studies in Science Education*, volume 17, pp. 123-25.

DENSCOMBE, M. (1980) The work context of teaching. An analytical framework for the study of teachers in classrooms, *British Journal of Sociology of Education*, volume 1, number 3, pp. 279-92.

DEWEY, J. (1946) The challenge of democracy to education, in *Problems of Man*, Philosophical Library, New York.

DORNBERGER, W. R. (1963) The German V-2, *Technology and Culture*, volume 4, pp. 393-409.

DRIVER, R. (1988) Restructuring the science curriculum : some implications of studies of learning for curriculum development, in D. Layton (ed.) *Innovations in science and technology education*, volume 2, Unesco, Paris, pp. 59-84.

DURANT, J., EVANS, G. and THOMAS, G. (1989) The public understanding of science, *Nature*, volume 340, pp. 11-14.

DURBIN, P. T. (1989) History and philosophy of technology : tensions and complementarities, in S. H. Cutcliffe and R. C. Post (eds.) *In Context. History and the history of technology*, Lehigh University Press, Bethlehem : Associated University Press, London, pp. 120-32.

EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (1990) *For you too !* Pamphlet describing the work of the consultant shops. Consultancy Shops Bureau, Eindhoven University of Technology, P.O. Box 513, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands.

ESRC (Economic and Social Research Council) (1990) *Social sciences*. News from ESRC, Issue 5, pp. 4-5.

FENSHAM, P. J. (1991) Science and technology education. A review of curriculum in these fields, in P. W. Jackson (ed.) *Handbook of Research on Curriculum 1991*, American Educational Research Association, Macmillan, New York.

Financial times (1990) Nuclear power stations : report of a standard scale for reporting nuclear accidents, 17 May 1990, p.9.

GARDNER, M. K. (1985) Cognitive psychological approaches to instrumental task analysis, in E. W. Gordon (ed.) *Review of Research in Education*, volume 12, American Educational Research Association, Washington, pp. 157-195.

GARRETT, R. M. (1986) Problem solving in science education, *Studies in Science Education*, volume 13, pp. 70-95.

GERGEN, K. J. and SEMIN, G. R. (1991) Everyday understanding in science and daily life, in G. R. Semin and K. J. Gergen (eds.) *Everyday understanding. Social and scientific implications*, Sage Publications, London, pp. 1-18.

GILLE, B. (1964) *Les ingénieurs de la Renaissance*, Hermann, Paris.

GORMAN, M. E. and CARLSON, W. B. (1990) Interpreting invention as a cognitive process : the case of Alexander Graham Bell, Thomas Edison and the telephone, *Science, Technology and Human Values*, volume 15, number 2, pp. 131-64.

GROSSMAN, P. L., WILSON, S. M. and SHULMAN, L. S. (1989) Teachers of substance : subject matter knowledge for teaching, in M. C. Reynolds (ed.) *Knowledge base for the beginning teacher*, Pergamon Press (for the American Association of Colleges of Teacher Education), Oxford.

HERSCHEL, J. F. W. (1830) *Preliminary discourse on the study of natural philosophy* (new edition), Longman, London.

HEWSON, P. W. and HEWSON, M. G. A'B (1988) An appropriate conception of teaching science, *Science Education*, volume 72, number 5, pp. 597-614.

HINES, J. M. and HUNGERFORD, H. R. (1984) Environmental education. Research related to environmental action skills, in L. A. Iozzi (ed.) *Summary of research in environmental education 1971-82*. Monographs in environmental education and environmental studies, volume 2. ERIC Clearing House for Science, Maths and Environmental Education, Columbus, Ohio. ED259879.

- HOLLANDER, R. (1984) Institutionalizing public service science : its perils and promise, in J. C. Petersen (ed.) *Citizen participation in science policy*, University of Massachusetts Press, Amherst, pp. 75-95.
- HOLZNER, B. and MARX, J. H. (1979) *Knowledge application. The knowledge system in society*, Allyn and Bacon Inc., Boston and London.
- HUGHES, T. P. (1983) *Networks of power. Electrification in Western Society 1880-1930*, John Hopkins University Press, Baltimore.
- HUNT, B. J. (1983) 'Practice vs. Theory'. The British electrical debate, 1888-1891, *Isis*, volume 74, pp. 341-55.
- IRWIN, A. and JUPP, A. (1990) Science and everyday life : a study of the public understanding of hazard issues. Unpublished paper.
- JAYANTA, B. and VANDANA, S. (1984) The legitimacy of people's participation in the formulation of science and technology policy : some lessons from the Indian experience, in J. C. Petersen (ed.) *Citizen participation in science policy*, University of Massachusetts Press, Amherst, pp. 96-106.
- JOHN-STEINER, V. (1985) *Notebooks of the mind : explorations in thinking*, University of New Mexico Press, Albuquerque.
- JONAS, H. (1983) *The imperative of responsibility. In search of an ethics for the technological age*, University of Chicago Press, Chicago and London.
- JONSEN, A. R. and TOULMIN, S. (1988) *The abuse of casuistry. A history of moral reasoning*. University of California Press, Berkeley and London.
- KELLER, A. (1984) Has science created technology ? *Minerva*, volume 22, pp. 160-82.
- KING, K. (1986) Mapping the environment of science in India, *Studies in Science Education*, volume 13, pp. 53-69.
- KLEMM, F. (1959) *A history of western technology*, Allen and Unwin, London.
- KLINE, R. (1987) Science and engineering theory in the invention and development of the induction motor, 1880-1900, *Technology and Culture*, volume 28, pp. 283-313.
- KROES, P. (1990) The role of design in engineering theory. Paper read at the International Conference on Technological Development and Science in the 19th and 20th centuries, University of Technology, Eindhoven, the Netherlands, 7 November, 1990.
- KUHN, T. S. (1962) *The structure of scientific revolutions*, University of Chicago Press, Chicago.
- LAETSCH, W. M. (1987) A basis for better public understanding of science, in D. Evered and M. O'Connor (eds.) *Communicating science to the public*, John Wiley and Sons, Chichester, New York, pp. 1-10.
- LATOUR, B. (1990) Are we talking about skills or about the redistribution of skills ? Abstract of paper delivered at a conference on Rediscovering Skill in Science, Technology and Medicine, 14-17 September 1990, University of Bath.

- LAVE, J. (1988) *Cognition in practice. Mind, mathematics and culture in everyday life*, Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- LAYTON, D. (1973) *Science for the people. The origins of the school science curriculum in England*, Allen and Unwin, London.
- LAYTON, D. (1975) *Science or Education ?* The University of Leeds Review, volume 18, pp. 81-105.
- LAYTON, D. (1981) The schooling of science in England, 1854-1939, in R. Macleod and P. Collins (eds.) *The Parliament of Science. The British Association for the Advancement of Science, 1831-1981*, Science Reviews Ltd., Northwood, Middlesex, pp. 188-210.
- LAYTON, D. (1986) Empowerment of people, the educational challenge of science for specific social purpose (SSSP), *Bulletin of Science, Technology and Society*, volume 6, number 2 and 3, pp. 210-18
- LAYTON, D. (1990a) Student Laboratory practice and the history and philosophy of science, in E. Hegarty-Hazel (ed.) *The student laboratory and the science curriculum*, Routledge, London and New York, pp. 37-59.
- LAYTON, D. (1990b) Science education and the new vocationalism, in E. W. Jenkins (ed.) *Policy issues and school science education*, Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, Leeds, pp. 52-62.
- LAYTON, D., DAVEY, A. and JENKINS, E. (1986) Science for specific social purposes (SSSP). Perspectives on adult scientific literacy, *Studies in Science Education*, volume 13, pp. 27-52.
- LAYTON, D., JENKINS, E., MACGIL, S. and DAVEY, A. (1983) *Inarticulate Science ? Perspectives on public understanding of science and some implications for science education*, Studies in Education Ltd, Nafferton, Driffield, East Yorkshire.
- LAYTON, D., MEDWAY, P. and YEOMANS, D. (1989) *Technology in TVE1 14-18. The range of practice*, The Training Agency, Moorfoot, Sheffield, S14PQ.
- LAYTON, E. (1971) Mirror-image twins. Communities of science and technology in nineteenth century America, *Technology and Culture*, volume 12, pp. 562-80.
- LAYTON, E. (1977) Conditions of technological development, in I. Spiegel-Rösing and D. de Solla Price (eds.) *Science, technology and society. A cross-disciplinary perspective*, Sage Publications, London, pp. 197-222.
- LAYTON, E. (1987) Through the looking glass, or news from Lake Mirror Image, *Technology and Culture*, volume 28, pp. 594-607.
- LAYTON, E. (1990) The nature of technological knowledge. Paper read at the International Conference on Technological Development and Science in the 19th and 20th centuries, University of Technology, Eindhoven, the Netherlands, 7 November 1990.
- LEVY, E. (1989) Judgement and policy : the two-step in mandated science and technology, in P. T. Durbin (ed.) *Philosophy of technology : practical, historical and other dimensions*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 41-59.

MACGILL, S. M. (1987) *The politics of anxiety : Sellafield's cancer-link controversy*, Pion, London.

MARA, D. (1983) The works and days of sanitation, *University of Leeds Review*, volume 26, pp. 45-57.

MARTIN, B., KASS, H. and BROUWER, W. (1990) Authentic science : a diversity of meanings, *Science Education*, volume 74, number 5, pp. 541-54.

MAYR, O. (1976) The science-technology relationship as a historiographic problem, *Technology and Culture*, volume 17, pp. 663-73.

McCORMICK, R. (1987) *Technological education*, The Open University Press, Milton Keynes, (and other course materials for ET887/897 Teaching and Learning Technology in Schools).

McCORMICK, R. (1990) The evolution of current practice in technology education. Paper prepared for the NATO Advanced Research Workshop : Integrating Advanced Technology into Technology Education, 8-12 October 1990, Eindhoven.

MEDWAY, P. (1989) Issues in the theory and practice of technology education, *Studies in Science Education*, volume 16, pp. 1-24.

MILLAR, R. and WYNNE, B. (1988) Public understanding of science : from contents to process, *International Journal of Science Education*, volume 10, number 4, pp. 388-98.

MILLER, J. D. (1987) Scientific literacy in the United States, in D. Evered and M. O'Connor (eds.) *Communicating science to the public*, John Wiley and Sons, Chichester, New York, pp. 19-37.

MILLER, W. A. (1857) Report of the President and Council, *Quarterly Journal of the Chemical Society*, volume 10, pp. 180-91.

MURRAY, R. (ed.) (1990) *Managing design and technology in the National Curriculum : a co-ordinated approach*, Heinemann, London.

NYIRI, J. C. and SMITH, B. (eds.) (1988) *Practical knowledge. Outline of a theory of traditions and skills*, Croom Helm, London.

PÉREZ-RAMOS, A. (1988) *Francis Bacon's idea of science and the maker's knowledge tradition*, Clarendon Press, Oxford.

RANKINE, W. J. M. (1857) *The science of engineering*, Griffin, London.

RANKINE, W. J. M. (1872) *A manual of applied mechanics*, sixth edition, Griffin, London.

RAVETZ, J. R. (1985) The methodology of citizen's science. Unpublished paper.

ROGOFF, B. (1990) *Apprenticeship in thinking. Cognitive development in social context*, Oxford University Press, Oxford.

ROGOFF, B. and LAVE, J. (eds.) (1984) *Everyday cognition : its development in social context*, Harvard University Press, Cambridge, MA.

- ROUSE, J. (1987) *Knowledge and power. Towards a political philosophy of science*, Cornell University Press, Ithaca and London.
- ROWE, M. B. (1983) Science education : a framework for decision-making. *Daedalus*, volume 112, number 2, pp. 123-42.
- ROYAL SOCIETY (1985) *The public understanding of science*, The Royal Society, London.
- RUSSELL, C. (1983) *Science and social change 1700-1900*, Macmillan, London.
- SCHON, D. A. (1983) *The reflective practitioner. How professionals think in action*, Temple Smith, London.
- SCHON, D. A. (1987) *Educating the reflective practitioner*, Jossey-Bass Publishers, San Francisco.
- SEMIN, G. R; and GERGEN, K. J. (eds.) (1990) *Everyday understanding. Social and scientific implications*, Sage Publications, London.
- SHORTLAND, M. (1987) Networks of attitudes and beliefs. Science and the adult student, *Science Literacy Papers*, Issue 1, pp. 37-66.
- SILVER, R. S. (1949) Commentary : Philosophy of Applied Science, *Research. A Journal of Science and its Applications*, volume 2, number 4, pp. 149-53.
- SINGER, P. (ed.) (1985) *In defense of animals*, Blackwell, Oxford.
- SINGER, P. (ed.) (1986) *Applied ethics*, Oxford University Press, Oxford.
- SINGER, P. (1990) *Embryo experimentation*, Cambridge University Press, Cambridge.
- SKOLIMOWSKI, H. (1966) The structure of thinking in technology, *Technology and Culture*, volume 7, pp. 371-83.
- SMITH, J. S. (ed.) (1989) *DATER 88. Proceedings of the first national conference in design and technology educational research and curriculum development*. Longman Group Resources Unit, Loughborough University of Technology.
- STAUDENMAIER, J. M. (1985) *Technology's storytellers. Reweaving the human fabric*, Society for the History of Technology and the M.I.T. Press, Cambridge, Mass. and London.
- STERN, P. C. and ARONSON, E. (eds.) (1984) *Energy use. The Human Dimension*, W. H. Freeman & Co., New York.
- THACKRAY, A. (1976) Discussion of the paper by Robert Multhauf, *Technology and Culture*, volume 17, p. 645.
- THOMAS, G. and DURANT, J. (1987) Why should we promote the public understanding of science ? *Science Literacy Papers*, Issue 1, pp. 1-14.
- TRAVIS, A. S. (1990) Perkin's mauve : ancestor of the organic chemical industry, *Technology and Culture*, volume 31, pp. 51-82.
- VINCENTI, W. (1982) Control-volume analysis : a difference in thinking between engineering and physics, *Technology and Culture*, volume 23, pp. 145-74.

WEINGART, P. (1978) The relation between science and technology – a sociological explanation, in W. Krohn, E. T. Layton Jr. and P. Weingart (eds.) *The dynamics of science and technology*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, pp. 251-86.

WHEWELL, W. (1834) Address to the meeting, in British Association for the Advancement of Science, *Report 1833*, John Murray, London, pp. xi-xxvi.

WILSON, S., SHULMAN, L. and RICHERT, A. E. (1987) '150 different way' of knowing : representation of knowledge in teaching, in J. Calderhead (ed.) *Exploring teachers' thinking*, Cassell, London.

WYNNE, B. (1988) Unruly technology : practical rules, impractical discourses and public understanding, *Social Studies of Science*, volume 18, pp. 147-67.

WYNNE, B. (1990) Knowledges in context. Background paper from five projects. Unpublished paper presented at the Science Policy Group Dissemination Session, April 1990.

WYNNE, B., PAYNE J. J. and WAKEFORD, J. R. (1990) End of Award Report. Unpublished. Award Reference Number : AO9250008. Economic and Social Research Council.