

Les technosciences en éducation @ l'aube du troisième millénaire

Renée Fountain (2001) Dans Gohier, C. & Laurin, S (dir.), *La formation fondamentale en l'an 2000*. Montréal: Éditions Logiques.

Comment peut-on désormais définir un humain, la connaissance, l'histoire,? Et quelle différence y a-t-il entre un initié et un néophyte?

L'information devrait-elle être considérée comme de la marchandise?

Qu'arrivera-t-il le jour où nous passerons d'une forme de vie fondée sur le carbone à une autre, assise sur le silicone?

Qui est propriétaire de la connaissance? Une compagnie privée peut-elle s'arroger le droit de garder pour elle de l'information jusqu'à ce qu'elle puisse en tirer un profit?

Quelle différence entre un cerveau humain enrichi des millions de fois par des implants neuraux, et une intelligence non biologique, construite sur une technologie inversée du cerveau, enrichie et développée subséquemment? (Kurzweil, 1999:60)

Comment l'éducation scientifique donnée à l'école permet-elle aux élèves de réfléchir à de telles questions propres au troisième millénaire? Quelle réforme curriculaire aurions-nous entreprise au tournant du siècle dernier si nous avions pu prévoir la venue d'Einstein, de Dolly, de la bombe atomique, de la théorie des particules, de la manipulation génétique, des armes chimiques, de la radio, du téléphone, de l'Internet, de la télévision, de la conquête de la lune, du mouvement des femmes, de la transplantation des organes, de la traduction du génome humain, de la robotique, de la fertilisation *in vitro*, du silicone, du plastique, des avions, des guerres mondiales, du terrorisme international, de la pilule contraceptive, des rayons X, du cyclotron, du SIDA, etc.? Pourtant, dès le début du siècle, A. N. Whitehead notait que

The note of the present epoch is that so many complexities have developed regarding material, space, time and energy that the simple security of the old orthodox assumptions has vanished. (Whitehead, 1925: 113)

En cette année 2000 nous pourrions très certainement reprendre cette observation. Nous nageons dans la complexité. Nos représentations binaires les plus familières sont de plus en plus fondues dans la mouvance des frontières et de nouvelles entités naissent, qui seraient à la fois humaines et non humaines. En effet, même la distinction entre l'humain et le non-humain est en train de disparaître; les pôles convergent. Il semblerait (Haraway, 1991) que la culture de haute technologie remettrait en question bien des dualités (principalement occidentales): soi/autre, esprit/corps, nature/culture/, mâle/femelle, civilisé/primitif, réalité/apparence, agent/ressource, vérité/illusion, total/partiel, et la liste s'allonge indéfiniment. Il ne semble pas qu'il soit clair de savoir

... who makes and who is made in the relation between human and machine. It is not clear what is mind and what is body in machines that resolve into coding practices. In so far as we know ourselves in both formal discourse (for example, biology) and in daily practice (for example the homework economy in the integrated circuit), we find ourselves to be cyborgs, hybrids, mosaics, and chimeras. Biological organisms have become biotic systems, communications devices like others. There is no fundamental, ontological separation in our formal knowledge of machine and organism, of technical and organic. (Haraway, 1991: 177)

Les mélanges résultant de la rencontre entre l'informatique, le biologique et l'économique se manifestent tout autant dans des domaines (bioinformatique, chimécologie, biogéochimie), des *infostries* (des industries telles Genbank, Repligen, Cyborg Corp.), des concepts (hétérotopies, simulacres, factishes¹), des cours (La construction sociale de la vie, Constructions scientifique du normal, Technologies littéraires), des congrès (Biomedical Sciences and Popular Culture, Science and Culture: Literature/Theory/Action, Interdisciplinary Studies: In the Middle, Across, or in Between?), des métaphores (rhizomes², bazar³, *defraction*⁴), des entités (oncosouris⁵, Dolly, techno-foetus), etc. Certains⁶ disent que nous allons

de la représentation	vers	la simulation
de l'organisme	vers	une composante biotique
de la profondeur, l'intégrité	vers	la surface, la limite
de la biologie comme pratique clinique	vers	la biologie comme « inscription »
des petits groupes	vers	les sous systèmes
de la perfection	vers	l'optimisation
de l'eugénique	vers	le contrôle des populations
de la physiologie	vers	l'ingénierie des communications
de l'identité	vers	l'affinité
de l'hygiène	vers	la gestion du stress
de la reproduction	vers	la réplication

(Haraway, 1991:161)⁷.

Selon Flower (sous presse) tout cela change la manière dont nous sommes liés les uns aux autres et aux choses dans le monde. Mais comment ces nouveaux liens se manifestent-ils et qu'impliquent-ils que nous fassions? D'après Miller, au moins dans les premières décennies du XXIe siècle

... it is clear that national, state, and local political agendas will include an increasing number of important scientific and technological controversies. As new energy and biological technologies move toward the marketplace, there will be important public

¹Latour, B. (sous presse)

²Deleuze, G., Guattari, F. (1980). Mille Plateaux. Paris: Minuit.

³Raymond, E. (1999). The Cathedral & The Bazaar. CA: O'Reilly & Associates.

⁴Haraway, D. (1997). Voir la bibliographie.

⁵Un rongeur transgénique breveté (Harvard) conçu pour traiter le cancer du sein. Le premier animal breveté au monde (1988): une création de laboratoire qui demeure un être vivant.

⁶Plusieurs auteurs comme David harvey, Donna Haraway, Bruno Latour, Michael Flower, Joseph Rouse, pour en nommer quelques-uns.

⁷Donna Haraway enseigne à l'Université de Californie, Santa Cruz dans les domaines suivants: Science et politiques, Théorie féministe, Science fiction, Théories contemporaines sur la race, le colonialisme, l'identité et la technologie.

policy issues to be decided, and some of these issues may erupt into full-scale public controversies. The preservation of the democratic process demands that there be a sufficient number of citizens able to understand the issues, deliberate the alternatives, and adopt public policy. (1996 : 186)

Si nous convenons que de telles controverses vont, en effet, se multipliant et que l'éducation doive, afin de souligner les valeurs de compétence et de participation propres à la citoyenneté à venir, être saisie des enjeux relatifs au processus démocratique, alors devons-nous introduire l'étude des controverses dans l'éducation aux technosciences⁸, avec un objectif bien particulier comme celui que propose Haraway.

The point is to make a difference in the world, to cast our lot with some of the ways of life and not others. To do that, one must be in the action, be finite and dirty, not transcendent and clean. Knowledge-making technologies, including crafting subject positions and ways of inhabiting such positions, must be relentlessly visible and open to critical intervention (Haraway, 1997: 36).

Haraway n'est pas la seule à proposer cette orientation. Les groupes et les personnes impliqués dans le développement des programmes d'éducation scientifique demandent des cours mettant en valeur la citoyenneté⁹, la culture scientifique¹⁰, la communication¹¹, l'argumentation¹², la pensée critique¹³, l'esthétique¹⁴, le discours épistémologique¹⁵, la compréhension manifeste¹⁶, et la capacité à agir dans la vie publique¹⁷. D'autres voix demandent une éducation scientifique qui soit en rapport avec la culture¹⁸, qui soit multiculturelle¹⁹ et interdisciplinaire²⁰. Toutes ces orientations curriculaires ont en commun deux choses: a) le souci d'une éducation scientifique pour tous (ce qui implique que les programmes d'éducation scientifique doivent être revus de manière à mettre en valeur plusieurs, sinon tous les objectifs ci-dessus; et cela pour la *majorité* des étudiants et pas seulement pour une minorité qui se dirige vers les sciences ou des disciplines connexes²¹); b) le souhait que les étudiants soient capables de:

⁸Les Technosciences sont un exemple des mélanges, hybrides et fusions dont on a parlé un plus haut; la notion sera expliquée un peu plus loin dans le texte.

⁹Jenkins, E. (1999); UK Government Advisory Group for Education for Citizenship (1998), American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1998); UNESCO Project 2000+; AAAA Project 2061; National Research Council Standards (1996); European Commissions White paper on Education (1995).

¹⁰Driver, R., Newton, P., Osborne, J. (2000), Laugsch, R. (2000), Polpi, R. (1999), Fourez, Gérard.(1997), Jenkins, E. (1995); Bingle et Gaskell, 1994; A Nation at Risk (1984), Public Understanding of Science (Royal Society, 1985), Benchmarks for Scientific Literacy (AAAS, 1993); Layton, D., Jenkins, E., Macgill, S. et Davey, A. (1993).

¹¹Hand, B., Prain, V., Lawrence, C., Yore, L.D. (1999).

¹²Driver, R., Newton, P., Osborne, J. (2000) et Newton, P., Driver, R., Osborne, J. (1999).

¹³Critique dans le sens de production de nouvelles significations, et pas seulement dans l'analyse point par point de l'argumentation afin d'identifier les sources du pouvoir (Haraway, 2000). Voir Guilbet, L. (1999).

¹⁴Désautels, J. Garrison, J., Fleruy, S., (sous presse)

¹⁵*Ibid.*

¹⁶Driver, R., Newton, P., Osborne, J. (2000).

¹⁷Désautels, J. (1998a). Désautels, J. (1998b). Jenkins, E. (1994).

¹⁸Olugbemiro, J.J. et Aikenhead, G.S. (1999).

¹⁹Harding, Sandra (1998).

²⁰Fourez, Gérard (2000, 1994).

²¹Selon Shamos (1995: 191) seulement de 3 à 5 % des étudiants s'engagent dans une carrière scientifique. On consultera également Gibbs et Fox, 1999.

OSER (c'est l'auteur qui souligne), faire preuve d'audace sur le plan cognitif, sans négliger pour autant les trois valeurs cardinales que sont le doute méthodique, la rigueur et la tolérance, sans renier les apports du travail disciplinaire, mais aussi sans s'y laisser piéger (Audet, 1998:8).

Mais les étudiants pourront-ils réellement développer des « compétences » de citoyenneté (pour reprendre une expression de la réforme curriculaire québécoise) dans les cours dédiés aux technosciences? Il s'avère que les étudiants (et le public en général²²) possèdent déjà un certain nombre de ces compétences. Ils arrivent à tirer des conclusions raisonnées (Doble, 1995), leurs idées deviennent plus complexes (Kuhn, Shaw et Felton 1997 *in* 3) leur capacité à argumenter s'améliore avec la pratique (Ratcliffe, 1996), ils produisent des pratiques épistémologiques (Désautels, J. Garrison, J., Fleury, S., (sous presse)), ils adoptent des positions politiques efficaces (Greenall and Robottom, 1993), ils sont en mesure de formuler et de poser de bonnes questions, de remettre en cause les notions de validité et d'évidence, ainsi qu'ils démontrent avoir conscience des présupposés et pouvoir tenir compte des implications (Désautels, J. Garrison, J., Fleury, S., (sous presse), Fountain, 1998), ils ont recours à des démarches comparables aux processus de recherche scientifique (Trumbull, D.J., Bonny, R., Bascom, D. and Cabral*, A., 2000), ils distinguent la valeur de crédibilité rattachée à différentes sources d'éducation (Giddens 1990, Wynne 1996), ils s'accommodent de la mouvance des frontières et vivent au milieu plusieurs histoires (Aikenhead 1992a, 1992b). Les difficultés et les défis semblent surgir quand il faut demeurer impartial, élaborer et identifier les contre-arguments, comprendre les solutions de rechange, et tenter d'exprimer un vocabulaire scientifique dans un langage accessible (Hand, B., Prain, V., Lawrence, C., Yore, L.D. (1999)²³.

The fact that children are able to problematize the production and distribution of scientific knowledge enables them to question, and, eventually, confront the arbitrary distribution of power in society. This amounts to nothing less than the first steps in an emancipatory journey. (Désautels, J. Garrison, J., Fleury, S., (sous presse)

De tels citoyens bien informés pourraient siéger sur des comités de politique scientifique; participer aux projets de conception des lieux de travail ou des regroupements communautaires; s'impliquer dans les débats sur la science et la technologie (aider à formuler des énoncés qui aient de l'impact et en assurer le suivi), organiser des groupes d'action sur les technosciences; écrire des romans ou composer de la musique dont le thème implique les croyances et les pratiques associées aux technosciences; identifier les problèmes d'ordre technoscientifique enchevêtrés dans les questions de classe, de race, d'identité sexuelle et de justice; participer à des groupes d'études internationaux ou à des organisations non gouvernementales (ONG) traitant de problèmes technoscientifiques; suivre des cours de science, de technologie et de mathématique pour le plaisir et dans un esprit de formation continue (Harraway, 1997)²⁴.

²²Dans les références qui suivent, un astérisque placé après le nom signifie que l'étude a été menée auprès du public en général et non d'étudiants.

²³En ce qui a trait aux enseignants, il semble que malgré le fait que les enseignants en sciences se soient montrés favorables à l'élargissement des programmes de sciences dans le sens des finalités proposées, ils ont néanmoins trouvé difficile de gérer des discussions (absence de procédures claires), ils ont exprimé un manque de confiance qu'ils attribuent à des carences au plan des connaissances de base, et ils ont indiqué un problème de temps à la fois dans l'espace curriculaire, trop étroit, et dans la planification, trop courte.

²⁴Harraway donne l'exemple suivant. Les Danois ont été des pionniers en établissant des panels composés de citoyens ordinaires, sélectionnés à partir d'un ensemble de personnes ayant indiqué leur intérêt, mais sans compétences professionnelles ou commerciales et sans être au centre d'aucun enjeu touchant à la technologie. Se rencontrant plusieurs fois aux frais de l'État, ces panels indépendants se comportent comme des jurys. Les 15 citoyens écoutent des témoignages, contre-interrogent des experts, lisent des compte-rendus, délibèrent et produisent un rapport qu'ils

On va maintenant se tourner vers l'une des approches (il y en a plusieurs) grâce à laquelle les programmes d'éducation aux technosciences pourraient offrir des stratégies pédagogiques permettant de prendre en compte les principales idées jusqu'ici mentionnées. On les résumera en trois points:

- 1) une éducation pour tous;
- 2) rendre possible ce que Audet appelle OSER; et
- 3) permettre de nouveaux mélanges entre l'informatique, la science, la politique, l'économie, etc.

Étudions les Controverses

Je lis en page quatre de mon quotidien que les campagnes de mesures au-dessus de l'Antarctique ne sont pas bonnes cette année : le trou de la couche d'ozone y agrandit dangereusement. En lisant plus avant, je passe des chimistes de la haute atmosphère aux PDG d'Atochem et de Monsanto, lesquelles modifient leurs chaînes de production pour remplacer les innocents chlorofluorocarbones, accusés de crime contre l'écosphère. Quelques paragraphes plus loin, ce sont les chefs d'état des grands pays industrialisés qui se mêlent de chimie, de réfrigérateurs, d'aérosols et de gaz inertes. Mais en bas de la colonne, voilà que les météorologues ne sont plus d'accord avec les chimistes et parlent de fluctuations cycliques. Du coup, les industriels ne savent plus que faire. Les têtes couronnées hésitent elles aussi. Faut-il attendre? Est-il déjà trop tard ? Plus bas, les pays du tiers monde et les écologistes ajoutent leur grain de sel et parlent de traités internationaux, de droit des générations futures, de droit au développement et de moratoires.

Le même article mêle ainsi réactions chimiques et réactions politiques. Un même fil attache la plus ésotérique des sciences et la plus basse politique, le ciel le plus lointain et telle usine dans la banlieue de Lyon, le danger le plus global et les prochaines élections. Les tailles, les enjeux, les durées, les acteurs ne sont pas comparables et pourtant les voilà engagés dans la même histoire.» (Latour, 1993:3)

De telles controverses technoscientifiques font de plus en plus partie de notre vie quotidienne. Elles sont très dynamiques, complexes, et hétérogènes. Elles posent à nouveaux frais de vieilles questions fondamentales (qu'est-ce qui est humain?) et exigent de nouvelles décisions (va-t-on continuer la recherche sur le clonage?). Des questions qui touchent à l'essence même de l'éducation, surtout l'enseignement des technosciences.

Il y a bien sûr un grand nombre d'approches pédagogiques permettant l'étude des controverses: la pédagogie par projet²⁵, la pensée critique²⁶, les îlots de rationalité²⁷, l'argumentation²⁸, « sociologics²⁹ »,

présentent à la presse nationale. Le processus prend environ six mois. En 1992, par exemple, il s'est tenu une telle conférence (consensus conference) en 1992 concernant la manipulation génétique en reproduction animale; cela a provoqué plus de 600 débats et opinions qui ont eu une influence certaine sur la législation. (Le résultat fut que le développement d'animaux transgéniques pour le traitement du cancer a été autorisé, mais pas la création d'animaux de compagnie)

²⁵Voir Johsu et Dupin, (1999), Guilbert et Ouellet, (1997), Minder (1996)

« boarder crossing³⁰ » et « participatory design³¹ ». Voilà autant d'approches offrant plusieurs perspectives permettant de bien penser les controverses³².

Je me propose cependant de mettre l'accent sur une approche dont le développement s'est fait principalement en dehors du secteur de l'éducation. Le mélange qui suit vient tout autant de la sociologie des sciences, de la philosophie que du techno-féminisme. De manière plus spécifique, la suite du texte va présenter une théorie connue sous le nom de Acteur-Réseau (AR) - et dont l'objet est la science en train de se faire (Latour 1987, 1993, 1996, 1999; Callon, 1992; Law, 1994) -, une conception du pouvoir élaboré par Foucault et des idées technoféministes proposées par Donna Haraway (1997, 1991).

Premièrement, je vais souligner les idées importantes de ces auteurs susceptibles de nous aider à penser les controverses à la hauteur des défis que pose le troisième millénaire. Deuxièmement, je présente un programme interdisciplinaire d'études scientifiques (déjà en place depuis plusieurs années au niveau universitaire) qui pourrait servir de référence aux écoles du Québec (écoles secondaires et cégeps) dans leur effort de renouvellement du curriculum en sciences et en technologie.

Pour bien penser les controverses

Il semble évident que l'éducation scientifique soit passé d'une rhétorique des conclusions³³ à une rhétorique des constructions³⁴, c'est-à-dire de ce que nous savons à la manière dont nous le savons, du taylorisme au constructivisme, de la connaissance *minds on* à la connaissance *hands on*, diraient même certains. J'aimerais soutenir que l'exigence de penser les controverses technoscientifiques en éducation nous pousse vers une rhétorique des « conflits³⁵ », c'est-à-dire vers le *pourquoi* de la connaissance: les politiques, les stratégies, les négociations, les contradictions, les désaccords, les affinités, les alliances, les trahisons, les loyautés, etc. Pour nous aider à intégrer le « politique » dans l'étude des controverses il y a une théorie et cinq éléments relatifs au troisième millénaire dont nous devrions commencer à tenir compte dans nos pratiques éducatives: la théorie d'Acteur-Réseau, la complexité, le pouvoir, les hybrides, les « actants », et enfin la métaphore d'un réseau.

²⁶Voir Bailin, Case, Coombs, et Daniels. (1999); Guilbert et Roy (1999a et b); Paul, R. (1993); Kuhn (1991)

²⁷Fourez (1997a,1997b,1997c, 1994)

²⁸Driver, R., Newton, P., Osborne, J. (2000);, Newton, Driver, et Osborne. (1999); Kuhn (1991).

²⁹Fountain (1998).

³⁰Olugbemiro, et Aikenhead, G.S. (1999); (Aikenhead, 1996)

³¹Dans la méthodologie de conception de systèmes, ce qu'on appelle « participatory design » est un ensemble de principes et de pratiques d'origine scandinave mis en place par les mouvements d'émancipation des travailleurs afin de démocratiser le marché du travail. On consultera leur site Web *The Institute for Learning Technologies Pedagogy for the 21st Century*

³²J'inviterais en particulier les enseignants en technosciences à jeter un coup d'oeil sur les travaux de G. Fourez qui a recours à l'interdisciplinarité dans l'éducation technoscientifique (développer des compétences scientifiques afin de comprendre son monde et comprendre et gérer l'univers technologique); à jeter un coup d'oeil également sur les travaux de Désautels et Roths qui insistent sur l'importance pour les citoyens de passer à l'action (livre en préparation). Enfin, voir également le numéro 28,1 de *Research in Science Education* dont le thème est *Science and Technology Studies and Science Education*.

³³La connaissance est empirique, littérale et sa valeur de vérité, irrévocable (Schwab, J. 1962: 24)

³⁴La connaissance est socialement construite (Glaserfeld, E. 1995, 1989)

³⁵On dirait « rhetoric of contentions », en anglais.

Une Théorie d'Acteur-Réseau: ³⁶

Acteur-Réseau cherche à dissoudre la distinction entre ce qui est 'social' et 'naturel'. C'est une théorie qui tente de ne pas hiérarchiser ni ce qui est scientifique (la nature) ni ce qui est social (la société). Latour (1989) Callon, Law, et Rip (1986) rejettent les distinctions entre la Science, la Technologie et la Société. Ils rejettent à la fois la perspective qui dépeint la science comme un domaine privilégié de savoir et la prétention à atteindre la réalité. Latour suggère que la théorie Acteur-Réseau nous permet d'éviter les pièges de la « naturalisation » (une rationalité scientifique), de la « socialisation » (constructivisme ou cognition sociale), et de la « textualisation » (déconstruction). Latour suggère que ces catégories mêmes font partie des preuves, des événements, et des ressources dont on se sert pour attribuer une nature « textuelle », « sociale » ou « naturelle » à un acteur particulier. Ces désignations sont plutôt le résultat d'épreuves et de traductions au lieu d'en être la cause. Cette méthodologie fait sienne la suggestion de Latour à l'effet que la science n'est pas différente de la politique, mais une manière différente d'en faire; la distinction a priori entre science (le savoir) et politique (le pouvoir) est à rejeter.

Pour Latour, étudier les controverses dans cette perspective nous plonge d'entrée de jeu dans le politique. Donc, conflits et luttes de pouvoir se trouvent au coeur de toute activité de connaissance. Pourtant on prend vite l'habitude de cacher ces conflits et ces luttes dans des « boîtes noires ». Mais c'est quand on aborde de front les controverses que s'ouvrent peu à peu les boîtes noires : on y découvre alors la complexité des chaînes d'associations. Sans une telle analyse, tout « réseau » d'énoncés reconnus comme des vérités technoscientifiques cache ses controverses, ses conflits, ses luttes au point de se montrer avec l'apparence de la clarté et l'absence de contradictions. La théorie Acteur-Réseau suggère que « la bonne méthode » ³⁷ pour examiner les technosciences n'est pas de commencer en

³⁶Pour une description plus complète de la théorie d'Acteur-Réseau en éducation on lira Fountain (1999)

³⁷Dans son livre « La science en action » (1987) -qui est la méthodologie d'acteur réseau- Latour a suivi les scientifiques et les ingénieurs dans leur production de faits crédibles et d'artefacts efficaces dans les technosciences. En particulier, Latour a examiné les stratagèmes dont les scientifiques et ingénieurs se sont servis pour rendre leurs énoncés crédibles, stratagèmes allant d'une faible rhétorique à une rhétorique plus forte. Les scientifiques et les ingénieurs réussissent à rendre leurs énoncés plus crédibles, plus forts que ceux des autres. Ils réussissent cela en augmentant le nombre d'éléments reliés à leur énoncé: des articles, des laboratoires, de nouveaux objets (i.e. microbes), des professionnels, des groupes d'intérêt différents, etc. Il est intéressant de noter que ces ressources rassemblées par les scientifiques et les ingénieurs peuvent être humaines, non-humaines, et hybrides. Les éléments non-humains sont typiquement soit des images imprimées qui viennent en général d'instruments de laboratoire, comme, des graphes, des photographies, soit de nouveaux construits comme des microbes, des quasars, ou des trous noirs. L'idée c'est qu'en liant un maximum d'éléments à un énoncé, il devient impossible, ou presque (étant donné la multiplicité d'éléments à considérer) de le remettre en question. De cette manière, l'énoncé résiste, au moins temporairement, à la pression des autres. L'originalité du travail de Latour (comment les scientifiques et les ingénieurs rendent leurs énoncés plus crédibles que ceux des autres) tient au fait qu'il n'explique pas la différence de crédibilité selon des « quantificateurs » standards et légitimes comme « rationnel » ou « logique ». Au lieu de faire appel à des adjectifs autoritaires et à des adverbes cyniques, comme : « seulement logique », « complètement illogique », « purement rationnel » ou « totalement irrationnel » qui n'ajoutent rien à la nature (vérité) de l'énoncé, Latour suggère plutôt que nous fassions appel aux points forts et faibles des énoncés eux-mêmes.

Si nous renonçons à ajouter aux multiples petits heurts qui éclatent entre différentes croyances une dichotomie grandiose - telle que enfant/adulte, primitif/civilisé, préscientifique/scientifique, tradition/révolution - , quel moyen nous reste-t-il pour décrire les nombreuses petites différences entre les chaînes associatives? Seulement ceci: le nombre des points qui sont joints entre eux, la force et la longueur de la jonction et la nature des obstacles. Chacune de ces chaînes est logique, c'est-à-dire va d'un point à un autre, mais certaines chaînes n'associent pas autant d'éléments que d'autres ou ne produisent pas les mêmes déplacements. En pratique, nous sommes passés des

s'appuyant sur des postulats particuliers concernant la nature ou les technoscientifiques, mais plutôt de suivre et de décrire les interactions entre actants, humains ou non, qu'on cherche à embrigader .³⁸

Complexité: là où un est trop peu et deux n'est qu'une possibilité parmi tant d'autres³⁹.

Les controverses sont en général complexes, elles ne sont pas facilement résolues, ainsi demeurent-elles controversées. Elles contiennent souvent des éléments difficiles à comprendre, comme des contradictions (les tensions provoquées par la jonction d'éléments incompatibles entre eux et pourtant vrais et nécessaires), des interdépendances non linéaires (des relations entre des gens, des places, des organisations et des systèmes technologiques dispersés à travers le monde) et des ambiguïtés. Alors comment développer chez les étudiants (et nous-mêmes) les compétences rendant les individus responsables à l'égard des complexités? Nous pouvons commencer en reconnaissant :

- 1)l'existence de types d'éducation fort différents les uns des autres (c'est une question de contexte) , l'existence également de plusieurs stratégies politiques (pas seulement la résistance ou la complicité) , tout en notant qui décide, pour qui et avec quel privilège de représentation;
- 2)l'existence de méthodologies avec un petit « m » et un « s »; il n'y a pas de *perception immaculée*⁴⁰, mais plutôt des percées interprétatives, engagées, contingentes et faillibles;
- 3)que l'objectivité est une réussite locale, elle n'est pas le fruit d'un observateur neutre.

Haraway propose que nous devenions des « témoins », et que cela soit un événement collectif à l'occasion duquel chacun note ses propres « complexités » dans sa manière de « voir », de même que celles des autres. Cela conduirait au fait que voir signifie désormais assumer son témoignage: se considérer politiquement imputable et physiquement vulnérable à l'égard de ses visions, de ses représentations et de ses simulations (1997). Cette manière figurée de voir va s'avérer d'une importance d'autant plus particulière que notre ancien attachement à ce qui est littéral, au sens de « voir c'est croire », va se confondre de plus en plus avec le virtuel.

Le pouvoir: un parlement des choses⁴¹

La qualité relationnelle unissant les « actants » (hybrides et autres) mérite d'être soulignée. Nous devons examiner les effets des négociations, des stratégies, des transactions, des affinités, des exclusions et des résistances sur et parmi les actants. Nous avons besoin de revoir la notion de pouvoir afin d'en dégager un sens « productif » . « Nous devons cesser de définir le pouvoir en termes négatifs: le pouvoir exclut, réprime, repousse, censure, abstrait, masque, cache. En fait le pouvoir *produit* les domaines de réalité où se manifeste l'objet et les rituels de vérité. (Foucault 75: 196 in Désautles, J., Garrison, J., Fleury, S., (sous presse: 25)

questions relevant de la *logique* (est-ce une voie directe ou détournée?) à la *socio-logique* (est-ce une association plus faible ou plus forte?). Ce terme n'ajoute pas un « contexte social » à des « opérations intellectuelles » mais désigne le tissu sans couture des associations. (Latour, 1989: 329)

En essayant de rendre leurs énoncés plus crédibles que ceux d'autres, les acteurs de tous ordres dessinent pour nous et pour eux-mêmes les « chaînes d'associations » qui constituent leur *socio-logique*.

³⁸Il y a un excellent exemple de la manière dont le concept de « niveau » fonctionne dans la théorie Acteur-Réseau dans Roth et MacGinn (1998a). On liera également les autres travaux de Roth (1999, 1998b, 1998c).

³⁹Haraway (1991).

⁴⁰T.S.Kuhn, dans Driver, R., Newton, P., Osborne, J. (2000)

⁴¹Latour, B. (1994-95)

En gros, Foucault propose de regarder le pouvoir comme une opération garantie non pas par le droit mais par la *technique*, non pas par le châtement mais par le *contrôle*, non pas par la loi mais par la *normalisation*. Il a vu la multiplicité des forces en relation non pas comme un produit, mais comme un *processus*, comme un *support* (formant des systèmes de chaînes, de disjonctions et de contradictions) ou même encore comme les stratégies dans lesquelles elles entrent en vigueur, comme dans la loi et dans les hégémonies sociales. Foucault nous invite également à voir le pouvoir comme une *condition de possibilités*, puisqu'il est malléable, local, instable; il se produit au fur et à mesure. Les permanences sont le résultat de mobilités temporaires, elles ne sont pas coulées dans le béton. En d'autres mots, là où il y a pouvoir, il y a résistance. Aussi la résistance ne s'exerce jamais de l'extérieur. Les relations de pouvoir ne sont pas extérieures au pouvoir, elles sont le résultat immédiat des divisions et elle jouent un rôle productif. En tant que tel le pouvoir n'est jamais acquis, il s'exerce plutôt à partir d'un nombre considérable de lieux. Il n'y a pas de lieu unique. Il y a plutôt pluralité voire multiplicité de lieux de pouvoir; il s'ensuit une pluralité de résistances. Le pouvoir n'est pas une chose, il décrète, il exécute⁴².

Selon Désautels, J., Garrison, J., Fleury, S., (sous presse):

Foucault did not think of power as a mystical flowing substance like phlogiston or some such. Instead, for him, power was a matter of relationships, functional relationships. We live in holistic webs of power just as we live in holistic webs of beliefs. It is not a matter of escaping from all « power » that is impossible. We can, however, reconfigure power in ways that make it more functional and less oppressive? (pp.25)

Ce qui est porteur d'espoir c'est que si nous apprenions à lire ces « *ramifications du pouvoir* » nous pourrions apprendre de nouveaux couplages et même créer de nouvelles coalitions. Tout le monde et en particulier les étudiants ont besoin de cet espoir: apprendre à se souvenir que nous avons été différents et que nous pourrions tout aussi bien l'être encore (Starr, 1991).

Les hybrides: qu'est-ce qui est naturel, pourquoi et à quel prix?

Any interesting being in technoscience, such as a textbook, molecule, equation, mouse, pipette, bomb, fungus, technician, agitator, or scientist, can - and often should- be teased open to show the sticky threads that make up its tissues. ?Which thread is which remains permanently mutable, a question of analytical choice and foregrounding operations. The threads are alive; they transform into each other; they move away from our categorical gaze. The relations among the technical, mythic, economic, political, formal, textual, historical, and organic are not causal. But the articulations are consequential; they matter. (Haraway, 1997: 68)

Les hybrides résultent souvent de catégories puissantes qui s'entrechoquent, produisant ainsi des mélanges générateurs. Prenons la technoscience, par exemple (on notera au passage qu'il n'y a pas de « trait d'union »). Les produits humains et ceux de la nature fusionnent, créant des entités technonaturelles comme l'oncosouris ou des mélanges artificiels comme la tomate-poisson (une tomate avec

⁴²Pour une introduction à l'oeuvre de Foucault en particulier pour des liens avec les sciences, on consultera le livre de Joseph Rouse's 1987 *Knowledge and Power: Toward a Political Philosophy of Science*. Ithica. Cornell University Press. Son plus récent livre (1996) propose une analyse de l'approche scientifique du point de vue de la culture, *Engaging Science: How to understand its practices philosophically*. Cornell University Press.

un gène tiré d'un flet des abîmes froides de la mer, dont le code produit une protéine ralentissant la congélation). La reconnaissance de ce qui est naturel (ou non naturel) - la mise en forme de la technoscience - est une joute dont les enjeux sont fort élevés (1977:50). Dans la technoscience (comme l'a très bien exprimé Latour dans *Science in Action*, 1987) la nature ne s'affirme pas elle-même, l'attribut « naturel » est un concept tout aussi construit que les autres. Dans la technoscience il y a néanmoins des mélanges illégitimes entre l'animal et la machine, entre le technique et l'organique. Nous devons développer notre capacité à prendre en compte ces hybrides, ces nouvelles entités émergentes, ces « naturecultures » (Haraway 2000). Les créations d'entités deviennent de plus en plus « artificielles »; et peut-être n'est-ce qu'une question de temps avant que ces nouvelles origines, les simulâcles, ne soient, dans le prochain millénaire, considérées comme naturelle (c'est-à-dire légitimes). A tous égards nous devons les prendre en considération au plan collectif.

Nous devons également être en mesure de prendre en compte les nouveaux signes ou opérateurs propres au cyberspace, tel que @. De tels signifiants de l'Internet constituent la syntaxe des relations entre le social, le naturel et le technique: relations de biotechnopouvoir, comme une espèce de « parenté » de la puce électronique, du gène, de la graine, de la bombe, de la lignée, de l'écosystème et des bases de données. (Haraway, 1977)

Cependant, de tels passages transgéniques entre les frontières et de telles « parentés » menacent l'idée même de « sainteté de la vie » chez ceux et celles qui s'appuient sur la nature pour en assurer la pureté et les autres qualités. Nous devons porter une attention particulière à cette argumentation concernant la « pollution des parentés » au nom de la nature, car cette dernière est au fondement même du discours raciste. Les hybrides vont problématiser la notion même de « pureté d'un type » et ouvrir la pensée sur les « thématiques des mélanges ». Comme Haraway (1977) et Latour (1999) le font remarquer, nous devons nous confronter à nos peurs de l'étranger et à nos suspicions vis-à-vis des mélanges, au fur et à mesure que la nature (ce qui est naturel est considéré comme normal) se fond avec le technologique (la production typiquement humaine « man-made »)⁴³.

Actants: qui/quoi compte désormais?

Un acteur ou un actant n'est pas un agent dans le sens sociologique usuel. Les acteurs sont des hybrides qui créent leurs propre *monde-acteur*. Désormais, l'acteur n'est pas une entité à laquelle on peut attribuer une intentionnalité humaine, mais plutôt un terme abstrait (un « signe ») qui fait référence aux éléments humains ou non-humains des vastes ensembles sémiotiques. Ce n'est pas un élément spécifique et unitaire, mais plutôt le produit d'une relation plus ou moins stable entre des effets variés qui forme un réseau. Par exemple le plutonium est un actant, qui nous a changé de manière fondamentale et permanente en nous infligeant de la mortalité et de la vulnérabilité que nous sommes désormais appelés à partager.⁴⁴

Ce qu'il est important d'observer, c'est ce qu'on va reconnaître comme actant rationnel, qui sera reconnu comme autorité connaissante, qui aura le pouvoir de définir ce qui est technique ou politique, et peut-être le plus important, quels seront les actants mis de côté ou catégorisés comme « l'autre ».

Le réseau comme métaphore

⁴³Dès 1980 il a été possible d'obtenir des brevets sur les mélanges. On en a obtenu un sur une bactérie génétiquement modifiée qui décompose le pétrole. Un organisme vivant est devenu une « composition de matières » brevetable.

⁴⁴On trouve un autre exemple fort intéressant d'un acteur hybride comprenant « gun » et « gunman » dans Latour (1999a: 179): « citizen-gun, a gun-citizen ».

Un réseau est un ensemble de points inter-reliés. Il se rapproche davantage de la toile d'araignée que de la structure hiérarchique. Un réseau est en perpétuel changement: il est fluide et non statique. Sa forme non linéaire autorise d'y accéder depuis un nombre varié de points: on peut même s'y brancher depuis n'importe où. Dans un réseau n'importe quoi peut devenir un point de branchement. Les points peuvent être aussi bien des humains que des créations de la science tels quasars, pulsars, antimatière, etc. Un réseau est relationnel, il peut être envisagé du point de vue de ce qu'il connecte ou ne connecte pas. Il peut être considéré du point de vue de sa cohérence (la qualité des maillages et la similitude des points d'ancrage) et de son hétérogénéité (quels points semblent mal s'ajuster ou même contradictoires). Il y a aussi des liens qui soient à la fois d'exclusion et d'inclusion (permettant ainsi les notions politique « d'inclusivité » et d'exclusivité). Un réseau appelle plusieurs types de relation: d'opposition, d'association, conditionnelle, simple, complexe, ordonnée, chaotique, etc. Un réseau est dynamique: il doit être entretenu, car il est constamment menacé par d'autres réseaux qui avancent plus vite ou plus facilement. Un réseau peut être testé; ainsi peut-on connaître les parties qui tiennent bien devant les attaques et celles qui cèdent facilement. En résumé, la métaphore d'un réseau⁴⁵ nous permet de nous représenter quelles relations sont maintenues (ce qui est et ce qui n'est pas lié) et jusqu'à quel degré elles le sont (quelles parties sont les plus faibles, quelles autres sont les plus fortes) quand émergent des controverses.

Inside these networks (scientists) make traces of all sorts circulate better by increasing their mobility, their speed, their reliability, their ability to combine with one another... weaving together a multitude of different elements which renders the question of whether they are 'scientific' or 'technical' or 'economic' or 'political' or 'managerial' meaningless. (Latour, 1987, p. 232)

En suivant cette piste, nous pouvons commencer à tracer les ramifications et les points de jonction au cœur même des controverses, en particulier celles qui ont cours à l'intérieur des sciences (Latour, B. (1994-95)⁴⁶. Flower (sous presse a et b) nous invite à lire ces représentations de manière différentielle, attentif aux différences asymétriques de pouvoir, de chance, de bénéfice et de souffrance. C'est cela, prétend Flower, être technoscientifiquement cultivé, et ce devrait être cela le but de la réforme des cours de science, de manière à ce que le lien se fasse avec « les pratiques critiques de la démocratie, de la liberté et de la sensibilité morale confrontées à de telles complications. » (Flower, sous presse -a). Flower le sait probablement d'autant mieux qu'il est l'un des artisans d'un programme de premier cycle universitaire conçu spécialement afin d'atteindre ces objectifs, et vers lequel nous nous tournons maintenant.

La conception et la place des sciences dans un curriculum ès arts

The Science in the Liberal Arts Curriculum (SLA) fait partie de la réforme en profondeur que *Portland State University* a entreprise au niveau de la formation générale obligatoire. Il s'agit d'un programme interdisciplinaire de plus de vingt cours mettant l'emphase sur l'idée de « science-dans-l'action »

⁴⁵Il y a plusieurs autres métaphores qui pourraient même s'avérer plus prolifiques (en terme de possibilités) et plus stimulantes (créant des ouvertures pour des entités qui n'existent pas encore) à mesure que le siècle avance: rhizomes (Deleuze et Guattari, 1980), défraction (Haraway, 1997); fractal (Davis et Sumatra, 2000).

⁴⁶Un bon exemple: la recommandation de certains à l'effet que les ordinateurs soient reconnus comme une troisième branche de la science, au même titre que la théorie et l'expérimentation. Dans *Advancement of Science*, 1992 in 17.

(*science-in-the-making*). Les deux paragraphes qui suivent sont tirés (traduits) de l'annuaire de l'Université.

Le programme (SLA), maintenant à sa troisième année, a d'abord été conçue pour des étudiants ne se destinant pas à une majeure en sciences de la nature. À travers trois types de cours - La recherche en sciences de la nature (*Natural Science Inquiry*), Concepts des sciences intégrées (*Integrated Science Concepts*) et La science et la société en contexte (*Context of Science and Society*) - les étudiants ont la chance d'approfondir l'étude des sciences comme un ensemble complexe de pratiques faisant appel à une multitude de talents et d'habiletés telles que la capacité 1) à utiliser de manière efficace les mathématiques de base, incluant l'algèbre, les logarithmes et les diagrammes, 2) à lire et à comprendre des documents dont le contenu scientifique est significatif, et à pouvoir en discuter (par exemple, des documents soumis pour consultation publique, un article tiré du *New Scientist* ou du *Scientific American*, ou encore un livre par Stephen Jay Gould), 3) à travailler en collaboration, tout en étant imputable au plan individuel, 4) à recueillir, à représenter et à évaluer des données avec précision et nuance, et à utiliser ces données afin d'exprimer et de soutenir un énoncé scientifique, 5) à rédiger un document ou même un article - de concert avec des membres de son groupe - qui traite de découvertes et d'énoncés scientifiques, à présenter et à défendre ces énoncés dans le cadre de présentations formelles ou d'affiches, 6) à fouiller et à penser de manière critique - demander, préciser et chercher des réponses à des questions exigeant la compréhension et le recours à des concepts scientifiques clés, 7) à recourir en classe à des stratégies d'apprentissage impliquant le fait d'écrire (*writing-to-learn strategies*) et l'usage d'un calepin de notes (*working notebook*), 8) à utiliser l'ordinateur efficacement dans la recherche et l'évaluation de données et 9) à mieux comprendre l'interaction complexe entre les sciences et les contextes politique, économique, social et éthique.

Les cours de ce programme d'études à trois niveaux se caractérisent par l'existence de « communautés en sciences de la nature » impliquées dans la science-en-action, et poursuivant des projets de collaboration dont la finalité demeure ouverte. Le but est, alors qu'on « parle science » et qu'on « écrit à propos de la science », d'offrir des échanges intellectuels riches entre les étudiants et les professeurs. Le cours *La recherche en sciences naturelles* consiste en un ensemble de projets, à difficultés croissantes, s'appuyant sur les processus de recherche: formulation d'hypothèses, formulation et validation d'énoncés scientifiques, représentation graphique de données, écriture scientifique formelle et informelle ainsi que différentes présentations orales. Le cours *Concepts des sciences intégrées* fait le point sur les idées d'ordre supérieur (comme les niveaux hiérarchiques d'organisation, l'équilibre dynamique, les flux d'énergie, et la diversité à l'intérieur de l'unité) qui caractérisent et lient certains domaines de la recherche scientifique. Par exemple, les cycles du système climatique, les taux de change, la chimie des ressources naturelles, l'écologie des populations, et la modélisation de la nature et de la vie. Finalement, ce sont les promesses et les limites de l'entreprise scientifique dans l'exercice du « monde réel », là

où se posent des problèmes d'ordre social, économique, politique et éthique, qui sont abordés dans le cours *Science et société en contexte*. On y trouve des problèmes tels: l'environnement et les radiations, la gestion et l'écologie des vieilles forêts, la science et la politique des changements climatiques, science et égalité des sexes, et la biopolitique, en particulier la reproduction et la génétique moléculaire chez l'humain⁴⁷.

Il m'apparaît que ce type de programme pour les étudiants qui ne se destinent pas à des carrières scientifiques offre un pont entre l'éducation aux sciences telle que pratiquée en classe aujourd'hui et l'introduction en classe de l'étude des controverses scientifiques à l'aube du troisième millénaire. Ce programme SLA pourrait également répondre, au moins en partie, aux demandes de réforme du ministère de l'Éducation concernant l'intégration des sciences et de la technologie. Tout cela avec l'espoir que:

... the technologies for establishing what may count as the case about the world may be rebuilt to bring the technical and the political back into realignment so that questions about possible liveable worlds lie visibly at the heart of our best science. (Haraway, 1997: 39)

Derniers commentaires

Le poète Rilke soutenait que nous devons apprendre à « vivre les questions »; peut-être deviendrons-nous aptes à recevoir un jour les réponses. C'est probablement une bonne formule concernant la rhétorique du débat, que nous pourrions introduire dans le discours pédagogique. Plutôt que de croire que les étudiants et les enseignants doivent tout savoir, peut-être pourrions-nous accepter de bien vivre les questions. Et bien les vivre politiquement de manière avisée, en sus de la compréhension que nous avons des contenus et de leur construction. Peut-être pouvons-nous finalement accepter notre vulnérabilité face à toute cette explosion de l'information et commencer à constituer des collectifs nous permettant les uns et les autres de profiter ensemble de ces innombrables controverses dont nous sommes aujourd'hui témoins, et peut-être même de nous préparer à accueillir les questions du troisième millénaire qui nous attendent.

Espérons que le fait d'exposer les étudiants à ces mélanges et à ces politiques, la compréhension d'eux-mêmes et des autres de même que la tolérance envers eux-mêmes et envers les autres s'en trouveront augmentées, au fur et à mesure qu'ils apprendront à apprécier toute la complexité et la fragilité dont le monde est fait, dont nous sommes faits. Peut-être qu'en insistant sur le sens des nuances (au sens d'un enrichissement) à découvrir ou à mettre dans les différents points de vue, les étudiants développeront-ils de meilleures dispositions à « bien » se comporter (conscients de la non-innocence des uns et des autres).

Enfin, peut-être qu'en dirigeant toute son attention vers les débats et les conflits (et découvrant, en retour, les affinités) pourra-t-on trouver le moyen de se libérer du silence propre à la « correctitude politique » dans lequel on se retrouve souvent.

Commentaire post-dernier

⁴⁷Pour de plus amples informations sur le programme SLA, on consultera leur site <http://www.cse.pdx.edu/sla>

Étant donné qu'il ne faudrait pas se prendre trop au sérieux et qu'il a été question de mélanges, je vais conclure dans une vieille tradition grecque (terminer un spectacle tragique par une comédie... encore que ce ne soit pas forcément le cas ici).

Un jour, un groupe de scientifiques se réunit et arrive à la conclusion que, le chemin parcouru par l'humanité ayant été tel, Dieu n'est plus nécessaire.

Alors l'un d'eux est désigné afin d'aller prévenir Dieu qu'on en avait fini de Lui. Le scientifique trouve finalement Dieu et lui dit : « Dieu, on a décidé qu'on n'a plus besoin de Toi. On est arrivé au point où la science peut cloner les gens, la manipulation génétique peut tout guérir, l'humanité est capable d'innombrables miracles, bref Tu n'es plus nécessaire. »

Dieu écoute attentivement et dit alors « Hmm... je vous propose quelque chose, un concours de création d'humain. Et si je gagne, vous allez m'avoir dans le portrait pour un sacré bout de temps! »

Le scientifique accepte sur le champ de relever le défi. Alors Dieu ajoute : « On va faire comme j'ai fait dans le bon vieux temps, avec Adam. » « Pas de problème » répond le scientifique, qui se penche et ramasse un peu de poussière. Mais Dieu le dévisage et lui jette funestement : « Excuse-moi mon fils, mais toute cette terre est la mienne... il va falloir que tu t'en trouves ailleurs! »

Bibliographie

- Aikenhead, G. S. (1996). Science education: Border crossing into the subculture of science. *Studies in Science Education*, 27, 1-52.
- Aikenhead, G. S. (1992a). Logical reasoning in science and technology. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 12(3), 149-159.
- Aikenhead, G. S. (1992b). L'approche sciences-technologies-société et l'apprentissage des sciences: une perspective de recherche. *Courrier du Cethes*, 16, 3-40.
- Audet, M. (1998). La technoscience décloisonnée: les enjeux de l'interdisciplinarité. *Courrier du Cethes*. Numéro 41. Déc.
- Bailin, S., Case, R., Coombs, R. J., et Daniels, L. B. (1999). Conceptualizing critical thinking. *Journal of Curriculum Studies*, 31(3), 285-302.
- Bingle, W. et Gaskell, J. (1994). Scientific Literacy for decision-making and the social construction of knowledge. *Science Education*, 78(2), 477-491.
- Callon, M. (1992). Techno-economic networks and irreversibility. . In J. Law (ed.) *A Sociology of Monsters: Essays on Power, Technology, and domination*, London: Routledge Sociological Review Monograph, 122-164.
- Davis, B. et Sumara, D. (2000, avril). Ecological Postmodernism and curriculum theory. . L.S.U. Internalization of Curriculum Conference, Baton Rouge, Louisiane.
- Dehart Hurd, Paul. (1997). *Inventing Science for the New Millennium*. Teachers College, Columbia University: New York.
- Deleuze, G., Guattari, F. (1980). *Mille Plateaux*. Paris: Minuit.
- Désautels, J. (1998a). Une éducation aux sciences pour l'action. *Recherches en Soins Infirmiers*, 52: 4-11.
- Désautels, J. (1998b). Une éducation aux technosciences pour l'action sociale. In *La recherche didactique au service de l'enseignement*. Journées internationales de didactique des sciences de Marrakech, Marrakech (Maroc): Université Cadi Ayyad, Faculté des sciences des Semlilia, 9-27
- Désautels, J., Garrison, J., et Fleury, S., (à paraître) The enactment of epistemological practice as a subversive social action. In W.M. Roth and J. Désautels (Eds.), *Science Education as/for Social Action*
- Doble, J. (1995). Public opinion about issues characterised by technological complexity and scientific uncertainty. *Public Understanding of Science*, 4, 95-118.
- Driver, R., Newton, P., et Osborne, J. (2000). Establishing norms of scientific argumentation in

classrooms. *Science Education* , 84: 287-312.

Fleener, M. J. (2000). *Creativity, emergence, and transactional spaces: an organcentric curriculum for supporting chaotic thinking*. Internationalization of Curriculum Studies, April, Baton Rouge. LA, USA.

Flower, M. J., Ramette, C., et Becker, W. (1997). Science in the liberal arts at Portland State Univeristy : A curriculum focusing on science-in-the making. In A. P. McNeal et C. D'Avanzo (Eds.), *Student-Active Science: Models of Innovation in College Science Teaching*. New York: Saunders College Publishing, 203-221.

Flower, M.,J. (sous presse-a) Technoscientific Literacy as Civic engagement: realizing how being at liberty comes to matter. *Liberal Education*, Summer, American Association of Colleges and Universities.

Flower, M. J.(sous presse-b).Unsettling Science Literacy. *Liberal Education*.

Foucault, M. (1978). *The History of Sexuality: An Introduction*. New York: Random House.

Fountain, R. M. (1999). Socioscientific issues via actor network theory. *Journal of Curriculum Studies*, 31 (3), 339-358.

Fountain, R. M. (1998). Sociologics: An analytical tool for examining socioscientific discourse. *RISE (Research in Science Education)*, 28 (1), 119-132.

Fourez, G. (2000). Des représentations aux disciplines et à l'interdisciplinarité. In *La Revue Nouvelle*, 11(2), pp.88-98.

Fourez, G. (1997a). Qu'entendre par "Îlot de rationalité"? Et par "Îlot interdisciplinaire de rationalité"? *Aster*, 25, 217-225.

Fourez, G. (1997b). Ilots de rationalité interdisciplinaires. *Recherche en Soins Infirmiers*, 50, 131-136.

Fourez, G. (1997c). Scientific and Technological Literacy as a Social Practice. *Social Studies of Science*, Vol. 27: 903-936.

Fourez, G. (1994). *Alphabétisation scientifique et technique*. DeBoek Université: Bruxelles.

Gibbs, W. W. et Fox, D. (1999). The false crisis in science education. *Scientific American*, October, 87-93.

Giddens, A. (1990). *The consequences of modernity*. Cambridge: Polity Press.

Glaserfeld, E. von (1995). *Radical constructivism. A way of knowing and learning*. London: The Falmer Press.

Glaserfeld, E. von (1989). Cognition, construction of knowledge and teaching. *Synthese*, 80 (1): 121-140.

- Greenall G. A., et Robottom, I. (1993). Towards a socially critical environmental education: water quality studies in a coastal school. *Journal of Curriculum Studies*. 25(4), 301-316.
- Guilbert, L. et Roy, Lyse. (1999a/Hiver). Guide d'accompagnement de la vidéo 1: *Animation, Types de Language et Modes de Pensée*. Centre de Production Multimédia de Université Laval, Québec, Canada.
- Guilbert, L. et Roy, Lyse. (1999b/Hiver). Guide d'accompagnement de la vidéo 2: *Prise de décision sur des thèmes socioscientifiques*. Centre de Production Multimédia de Université Laval, Québec, Canada.
- Guilbert, L. et Ouellet, L. (1997). *Étude de cas. Apprenstissage par problème*. Sainte-Foy (Québec): presses de l'Université de Québec.
- Hand, B., Prain, V., Lawrence, C., et Yore, L.D. (1999). A writing in science framework designed to enhance scientific literacy. *International Journal of Science Education*. 21 (10), 1021-1035.
- Hogan, Kathleen. (2000). Exploring a process view of students' knowledge about the nature of science. *Science Education*. 84: 51-70.
- Haraway, D., (2000). *How Life A Leaf*. Routledge: New York.
- Haraway, D., (1997). *Modest Witness@Second Millennium. FemaleMan _Meets_OncoMouse* . Routledge: New York
- Haraway, D., (1991). *Simians, Cyborgs, and Women" The Reinvention of Nature*. Routledge: New York.
- Harding, Sandra. (1998). *Is Science Multicultural?* Bloomington: Indiana University Press.
- Harvey, David. (1990).*The Condition of Postmodernity*., Cambridge, MA: Blackwell Publishing.
- Jenkins, E. (1999). School science, citizenship and the public understanding of science. *International Journal of Science Education*, 21(7), 703-710.
- Jenkins, E. (1995). Benchmarks for scientific literacy: a review symposium. *Journal of Curriculum Studies*, 27(4), 445-461.
- Jenkins, E (1994). Public understanding of science and science education for action. *Journal of Curriculum Studies*, 26(6), 601-611.
- Joshua, S. et Dupin, J.J. (1999). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques* (2e édition). Paris: presses Universitaires de France.
- Kuhn, Deanna. (1991). *The skills of argument*. New York: Cambridge.
- Kuhn, D., Shaw, V. et Felton, M. (1997). Effects of dyadic interaction on argument. *Cognition and Instruction*, 15(3), 287-315.

- Kurzweil, P. (1999). The coming merging of mind and machine. *Scientific American*, 10(3), :56-60.
- Larochelle, M., et Désautels, J. (1997). L'éducation aux sciences: l'effet Fourez. *Revue des Questions Scientifiques*, 168 (4): 347-358.
- Latour, B. (sous presse). Factures/Fractures: from the concept of network to that of attachment. In J. Loerner (Ed.), *Factura*, Special issue of RES.
- Latour, B. (1999). *Pandora's Hope*. Cambridge MA: Harvard University Press.
- Latour, B. (1999). On recalling ANT. In J. Law et J. Hassard (Eds.), *Actor Network Theory and After*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Latour, B. (1996). On actor network theory. A few clarifications. *Soziale Welt*, 47, 369-381.
- Latour, B. (1994-95). Esquisse d'un parlement des choses. *Ecologie Politique* (10), 97-115
- Latour, B. (1993) *We Have Never Been Modern*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Latour, B. (1987). *Science in Action.: how to follow scientists and engineers through society*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.
- Laugksch, R. C. (2000). Scientific literacy: a conceptual overview. *Science Education*, 84: 71-94.
- Layton, D., Jenkins, E., Macgill, S. et Davey, A. (1993). *Inarticulate science? Perspectives on the Public Understanding of Science and Some Implications for Science Education*. Driffield, UK: Studies in Education Ltd.
- Law, J. (1994). *Organizing Modernity*. Cambridge, MA: Blackwell Publishers.
- McGinn, M. K., et Roth, W. M. (1999). Towards a new science education: Implications of recent research in science and technology studies. *Educational Researcher*, 28(3), 14-24.
- Middleton, S. (1998). *Disciplining Sexuality: Foucault, Life Histories, and Education*. New York: Teachers College Press.
- Minder, “ (1996). *Didactique fonctionnelle: Objectifs, stratégies, évaluation (7e édition)*. Paris, Bruxelles: DeBoeck Univeristé.
- Miller, Jon, D. (1996). Scientific literacy for effective citizenship. In Yager, R.E. (ed.), *Science/Technology/Society As reform in Science Education*. New York Press.
- Newton, P., Driver, R., et Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *Internatioal Journal of Science Education*. 21(5), pp. 553-576
- Olugbemiro, J.J. et Aikenhead, G. S. (1999). Transcending cultural borders: implications for science teaching. *Research in Technological Education*. 17(1), 45-66.
- Paul, R. (1993). *Critical Thinking: What Every Person Needs to Survive In a Rapidly Changing World*.

Santa Rosa, CA: Foundation for Critical Thinking.

Popli, Rakekesh. (1999). Scientific literacy for all citizens: different concepts and contents. *Public Understanding of Science*, 8: 123-137.

Ratcliffe, M. (1996). Adolescent decision-making, by individual and groups, about societal issues. In G. Welford, J. Osborne, et P. Scott (Eds.), *Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes*. London: Falmer press.

Raymond, E. (1999). *The Cathedral & The Bazaar*. CA: O'Reilly & Associates.

Rodriguez, A. J. (1998a) Strategies for counterresistance: Toward sociotransformative constructivism and learning to teach science for diversity and for understanding. *Journal for Research in Science Teaching*. 35 (6), 589-622

Rodriguez, A. J. (1998b) Busting open the meritocracy myth: Rethinking equity and student achievement in science. *Journal of Women and Minorities in Science and Engineering*. 4(2&3), 195-216

Rodriguez, A. J. (1997) The dangerous discourse of invisibility: A critique of the NRC's National Science Education Standards. *Journal of Research in Science Teaching*. 34(1), 19-37

Roth, W. M., & Bowen, G. M. (1999). Digitising lizards or the topology of vision in ecological fieldwork. *Social Studies of Science*, 29, 627-654.

Roth W.M. et MacGinn, M. (1998a). UnDELETE science education:/lives/work/voices. *Journal of Research in Science Teaching*, 35 (4), 399-421.

Roth, W. M., & McGinn, M. K. (1998b). Inscriptions: a social practice approach to "representations." *Review of Educational Research*, 68, 35-59.

Roth, W. M. (1998c). Science and technology studies and science education: a natural match? *Research in Science Education*, 28, 1-7.

Shamos, M. (1995). *The Myth of Scientific Literacy*. New Brunswick (NJ): Rutgers University Press.

Star, S. L. (1991). Power, technology and the phenomenology of conventions: On being allergic to onions. In J. Law (ed.) *A Sociology of Monsters: Power, Technology, and the Modern World*. Oxford: Basil Blackwell, 26-56.

Trumbull D.J., Bonny, R., Bascom, D. et Cabral, A. (2000). Thinking scientifically during participation in a citizen-science project. *Science Education*. 84, 265-275.

Urry, John. (2000). *Time, complexity and the global*. Complexity Conference, Department of Sociology, University of Leeds. May.

Whitehead, A.N. (1925). *Science and the Modern World*. The Free Press. MacMillan: New York.

Wynne, B. (1996). Misunderstood misunderstandings: Social identities and public uptake of science. In

A. Irwin and B. Wynne Eds.) *Misunderstanding Science: The Public reconstruction of science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press.