

Savoirs mobilisés par des étudiants pour étudier des controverses sur les nanotechnologies

ALBE Virginie, Professeure, UMR STEF ENSC-INRP UniverSud Paris, Ecole Normale Supérieure de Cachan, France, virginie.albe@stef.ens-cachan.fr

BOURAS Adel, Maître technologue, ISET de Nabeul, Tunisie, adelbouras@yahoo.fr

Mots clés : controverses, technosciences, relations aux savoirs, nanotechnologies

Résumé

Notre recherche s'inscrit dans le courant des travaux de didactique sur des questions socialement vives. Des recherches ont montré que des considérations épistémologiques jouent un grand rôle dans les positions et prises de décision d'élèves et orientent leurs délibérations autour de controverses socioscientifiques. La prégnance de considérations à saveur empirico-réaliste semble constituer un obstacle à une analyse critique des différents discours autour de telles controverses. Dans ce contexte, nous présentons une recherche avec une double visée d'intervention et d'analyse destinée à favoriser pour des étudiants de maîtrise une complexification épistémologique et une analyse critique des controverses sur les nanotechnologies. Les résultats indiquent que les étudiants ne mobilisent pas de savoirs scolaires sur la question, ni de savoirs sociaux ou naturels, mais réalisent une appréhension des controverses autour de l'identification et la discussion critique de savoirs et pratiques scientifiques, experts et économiques.

1. Introduction

Ces dernières années, des recherches en didactique des disciplines se sont développées à propos de questions dites socialement vives (Legardez & Simonneaux, 2006). Les finalités de ce courant de recherches en France rejoignent celles d'autres mouvements, en particulier le courant anglophone des *socioscientific issues* (Sadler, 2004 ; Sadler & Zeidler, 2005) qui vise à développer la culture scientifique pour tous afin d'outiller les citoyens à participer aux controverses et choix en matière technoscientifique. Une telle visée de démocratisation des technosciences pour tous s'inscrit dans la lignée des approches Sciences-Technologies-Sociétés et Sciences-Technologies-Sociétés-Environnement qui se sont développées à partir de la fin des années 1970 afin d'explorer en classe la nature des sciences et des technologies et d'étudier leur interdépendance avec la société. On peut toutefois remarquer avec Layton (1988) que dans les approches STS l'aspect Technologies a souvent été minoré et les technologies considérées comme des applications des sciences. Dans la lignée des approches STS, il a ainsi été souligné l'importance d'étudier en classe les relations entre sciences et technologies, la question des valeurs et de la dimension sociale des technologies (Locatis, 1988). Les modalités contemporaines d'élaboration des sciences ont par ailleurs conduit philosophes, sociologues et historiens des sciences et des techniques à souligner le

resserrement des liens entre activité scientifique et activité technique (Pestre, 2003 ; Thuillier, 1995) et à utiliser le terme « techno(-)science » pour exprimer le caractère indissociable des sciences et des technologies dans les recherches contemporaines (Hottois, 2005, p. 8). Ainsi, si l'on suit les controverses sur le front des recherches actuelles, on est amené à considérer que les questions scientifiques socialement vives qui se posent à nos sociétés aujourd'hui constituent des controverses socioscientifiques et souvent également des controverses sociotechniques ou encore sociotechnoscientifiques.

Ainsi, nous nous sommes centrés dans cette recherche sur les controverses soulevées par les nanotechnologies afin de contribuer à l'enjeu socioéducatif de développement de la culture scientifique et technique pour tous. Il s'agit selon nous de former les jeunes à comprendre la nature des technosciences, l'imbrication des questions de technosciences et de société et à prendre part aux débats et choix technoscientifiques des sociétés contemporaines.

Plusieurs recherches ont montré pour des publics de différents niveaux scolaires et universitaires et différentes controverses que leur appréhension par des élèves ou des étudiants mobilise peu de connaissances scientifiques ou technologiques mais s'appuie sur l'expérience personnelle ou sociale des individus, des connaissances issues des médias, et des considérations épistémologiques (Hogan, 2002 ; Patronis *et al.*, 1999). Des représentations naïves de la nature de la science limitent l'interprétation par élèves et étudiants de controverses socioscientifiques (Bader, 2003; Larochelle & Désautels, 2001; Kolstø, 2001). En particulier, une centration sur une perception réaliste et empirique de l'élaboration des sciences ne peut permettre de prendre en compte les incertitudes et les débats impliqués dans toute démarche scientifique (Leach & Lewis, 2002). L'introduction dans les curricula de considérations sur la nature et les limites des sciences, le statut, rôle et limites des preuves, les intérêts en jeu et les pratiques des communautés scientifiques a ainsi été proposée (Sadler, 2004). Dans ce contexte, nous avons mené une recherche avec une double visée d'intervention et d'analyse destinée à favoriser pour des étudiants de maîtrise une complexification épistémologique et une analyse critique des controverses sur les nanotechnologies.

2. Cadre théorique

Notre cadre théorique est construit à partir de plusieurs éléments : une théorisation de la conception de situations d'enseignement développée dans le champ des recherches en éducation états-uniens et utilisée en France en didactique des sciences physiques au lycée (Tiberghien, Vince et Gaidioz, 2007), un modèle de la scolarisation de controverses socioscientifiques (Albe, 2007) et la notion de relations aux savoirs utilisée en didactique des questions économiques et sociales socialement vives (Legardez, 2006).

Les visées des recherches sur la conception de situations d'enseignement sont multiples (The design-based research collective, 2003). Elles peuvent aider à comprendre les relations entre théories de l'enseignement et de l'apprentissage, situations conçues et pratiques. Il s'agit ainsi de recherches *pour* et *sur* la pratique. Au-delà de la création de situations qui sont effectives sur le plan de l'apprentissage, une théorie du design vise à expliquer pourquoi les situations fonctionnent, à identifier certaines « généralités » entre plusieurs designs et à suggérer comment elles peuvent être adaptées à de nouvelles circonstances (Cobb *et al.*, 2003).

Un modèle avec une double visée d'analyse et d'intervention pour étudier la scolarisation de controverses socioscientifiques a été proposé (Albe, 2007). Développé selon l'approche de théorisation de la conception de situations d'enseignement, un tel modèle est caractérisé d'humble, pas seulement dans le sens d'être lié à un domaine spécifique mais aussi parce qu'il est redevable de l'activité de conception dans des cycles successifs de conception, d'analyse

et de re-conception (Cobb *et al.*, 2003). Ce modèle met l'accent sur l'identification des dispositions à l'engagement dans une controverse par la prise en considération de trois dimensions (épistémologie, communication et activité du groupe classe). Nous nous focalisons ici sur la dimension épistémologique étant donné l'objet de la recherche empirique présentée. Cette dimension épistémologique consiste à cerner comment est prise en compte par élèves ou enseignants la diversité des savoirs et pratiques de référence à propos de controverses socioscientifiques.

Pour de telles controverses, les incertitudes scientifiques priment, les expertises sont mises en débat et des références autres que savantes jouent un grand rôle. Il peut s'agir de savoirs et pratiques de référence pour des groupes sociaux spécifiques (scientifiques, experts, contre-experts, journalistes, associations de professionnels, militants associatifs ...), de savoirs scolaires ou de savoirs sociaux ou « naturels ». Proposant un modèle didactique de l'enseignement-apprentissage en sciences économiques, sociales et de gestion (SESG), Legardez (1999) a fait l'hypothèse que pour presque tous les objets de savoirs scolaires en SESG, les élèves ont des « savoirs naturels » non principalement scolaires, qui possèdent une rationalité locale et une légitimité en dehors de l'École. Qu'il s'agisse par exemple de l'enseignement du chômage ou de la mondialisation, peuvent ainsi intervenir en classe des « savoirs sociaux » ou des « savoirs naturels » socialement localisés. De tels savoirs sont légitimés dans l'espace social ou dans des groupes sociaux différents, ce qui n'est pas le cas pour l'enseignement des mathématiques, les notions de variance ou de vecteur par exemple ne faisant pas l'objet d'élaboration de savoirs en société ou dans des groupes sociaux spécifiques. En revanche, une telle approche est pertinente pour approcher ici les savoirs mobilisés par des élèves ou des étudiants lorsqu'ils sont confrontés à des controverses socioscientifiques. Lorsque sont débattues dans l'École des questions telles que les OGM par exemple, il n'est pas possible de s'appuyer sur des savoirs stabilisés dans des communautés savantes (bien au contraire scientifiques s'opposent et différentes interprétations ou thèses sont proposées). Les élèves font appel à des savoirs élaborés dans des groupes sociaux qui peuvent être très divers (semenciers, agriculteurs utilisateurs ou opposés, arracheurs d'OGM...). Dans le cas des nanotechnologies, peuvent également être mobilisés par élèves ou étudiants des savoirs ou pratiques de référence (microscopie, synthèses chimiques, molécularisation instrumentale par exemple), des savoirs sociaux ou naturels à propos du développement de la surveillance électronique, d'armes nouvelles ou de produits potentiellement nocifs pour la santé et l'environnement, des savoirs scolaires relatifs à la structure de la matière, aux échelles de infiniment petit, à l'ADN...

Cette situation conduit l'école à importer des savoirs élaborés dans des groupes sociaux qui ne sont pas habituellement reconnus comme producteurs de savoirs valides et légitimes pour l'enseignement. Legardez (2006) a ainsi proposé, en référence à Chevallard (1991), de distinguer trois « genres de savoirs » pour l'étude de questions socialement vives : les savoirs de référence, les savoirs sociaux ou naturels et les savoirs scolaires. Selon une approche didactique du rapport au savoir, Chevallard (1992) définit un rapport personnel et un rapport institutionnel à un objet de savoir, qui réside dans la manière dont la personne ou dont l'institution « connaît » cet objet de savoir. Par institution, Chevallard (1992) entend à la fois des structures scolaires comme la classe, les travaux dirigés, l'école, l'université, mais aussi d'autres structures comme la famille, une profession, ou encore la vie quotidienne. Une personne qui entre dans une institution lui est assujettie : elle va être confrontée à chaque objet connu de l'institution à travers le rapport entretenu par l'institution avec cet objet. Un « bon sujet » de l'institution dans ce cadre est celui qui met en conformité son rapport personnel à un objet avec le rapport institutionnel. Si, de manière générale, la « mise en textes du savoir » assure sa dépersonnalisation et une désyncrétisation qui permet d'extraire le savoir du contexte épistémologique dans lequel il a été développé, ces mécanismes apparaissent impossibles pour des savoirs en train de se construire dans des communautés

savantes aux cadres théoriques, méthodologiques, pratiques, instrumentaux différents. Gommer les processus d'élaboration des savoirs reviendrait à obérer les possibilités de développer une compréhension de la controverse. Au contraire, comme Legardez (2006, p. 26), nous considérons que l'enseignement de questions socialement vives ne peut se concevoir en dehors d'une réflexion de type épistémologique. Il s'agit de considérer les relations qu'entretiennent une personne ou une institution avec une diversité de savoirs et de pratiques de référence comme nous l'avons évoqué plus haut, plutôt que de se centrer sur une perspective micro-sociologique centrée sur le sujet dans sa singularité (au sens de Charlot, 1997 et des recherches développées dans l'équipe ESCOL). Etudier les relations d'élèves ou d'étudiants aux savoirs permet également d'informer sur les ressources mobilisées pour l'étude de controverses socioscientifiques.

3. Questions de recherche

Dans ce cadre théorique, notre problématique porte plus spécifiquement sur les relations aux savoirs d'étudiants de maîtrise lors d'une étude sur les controverses des nanotechnologies mise en forme dans un document rédigé individuellement qui s'appuie sur différentes ressources documentaires à l'issue d'une formation à l'épistémologie des technosciences. Cette formation a été spécifiquement conçue selon l'approche théorique du *research design* où les situations conçues servent à théoriser les relations entre les processus d'apprentissage et les caractéristiques des pratiques de classe potentiellement formatrices. Les dispositifs élaborés par des chercheurs-concepteurs servent une double finalité de formation et de recueil de données. Autrement dit, notre recherche consiste en une étude empirique de type « étude de cas » située dans le contexte d'intervention et il s'agit ainsi d'une contribution à une problématique plus large dont la visée est l'intelligibilité de l'engagement d'étudiants dans l'étude des controverses sur les nanotechnologies, en référence au modèle de l'écologie des controverses socioscientifiques (Albe, 2007). Nos questions de recherche sont les suivantes : Quels sont les savoirs et pratiques de référence que mobilisent des étudiants pour étudier les controverses soulevées par les nanotechnologies après un enseignement intégrant une formation explicite à l'épistémologie des technosciences ? Quelles sont les ressources documentaires qu'ils retiennent pour présenter une étude personnelle des controverses sur les nanotechnologies ?

4. Méthodologie

Nous avons élaboré un module de formation à l'épistémologie des technosciences d'un semestre comprenant 6 séances d'enseignement d'une durée de 2 ou 3 heures, encadrées par les chercheurs et du travail personnel non tutoré pour les étudiants. Les participants à notre recherche sont six étudiants en maîtrise de génie mécanique et de génie électrique en Tunisie. A l'issue du module d'enseignement, les étudiants rédigent un document individuel de présentation des controverses sur les nanotechnologies. Ils disposent des documents de formation et d'un corpus de documents sélectionnés via une analyse épistémologique et sociale des controverses (Albe, 2007 ; Bouras, 2007) mobilisant les concepts et méthodes de la sociologie de l'innovation scientifique et technique (Latour, 2007). Les documents retenus sont ainsi représentatifs des arguments échangés par les divers protagonistes des controverses:

- Un extrait du rapport de l'Académie des sciences et Académie des technologies, *Nanosciences, Nanotechnologies* (2004);
- Les recommandations citoyennes issues de la Consultation Citoyenne EpE-APPA sur les questions environnementales et sanitaires liées au développement des nanotechnologies (2006);
- Un extrait du portail français des NST¹ ;
- Un extrait du site Internet du Massachusetts Institute of Technology (MIT);
- Un extrait du site Internet de la National Science Foundation américaine (NSF);
- Un texte de présentation à l'Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences de Levy (1998). *Introduction à la nanotechnologie moléculaire*;
- Un article de Dupuy & Roure (2004) *Les nanotechnologies : éthique et prospective industrielle*²;
- Un extrait du rapport du comité d'éthique du CNRS (2006). *Enjeux éthiques des nanosciences et nanotechnologies*.

Les étudiants peuvent également rechercher de l'information et indiquer leurs sources documentaires. Précisons que ce document individuel est indépendant de l'évaluation institutionnelle du module de formation. A des fins d'analyse, nous avons codé chaque document individuel par une lettre de A à F. En cohérence avec notre cadre théorique, nous avons cherché à identifier les savoirs mobilisés par les étudiants dans leurs documents individuels présentant leur étude des controverses sur les nanotechnologies : savoirs sociaux ou naturels, savoirs et pratiques de référence dans des groupes et savoirs scolaires. Nous avons repéré les acteurs que les étudiants identifient, les arguments qu'ils retiennent et comment ils présentent ce qui les fonde. Concernant les acteurs ou groupes impliqués dans les controverses sur les nanotechnologies, nous nous sommes attachés à cerner les scientifiques, experts, associations ou groupes de citoyens, ainsi que les domaines de recherche et champs d'expertise que les étudiants identifient, ainsi que les institutions concernées et lorsque c'est possible les financeurs des recherches menées ou expertises produites.

5. Résultats

Différentes catégories d'acteurs sont identifiées par les étudiants: des scientifiques comme Feynman et Drexler et des institutions de recherche lors d'une présentation historique du développement des nanotechnologies dans trois dossiers, comme l'illustrent les extraits ci-dessous :

« Richard Feynman a suggéré que les lois physiques autorisaient la manipulation et le positionnement direct et contrôlé des atomes et des molécules individuellement un par un de tel façon on pourrait utiliser les atomes comme brique de construction. » (document A, p. 4).

«[...] au début des années 80, Eric Drexler, le premier chercheur après Feynman a découvert et diffusé le concept de la nanotechnologie et il a écrit un ouvrage analysant en détail les interactions atomiques dans le but de fabriquer des nano machines. Pour sensibiliser les chercheurs et les publics de l'importance de cette nouvelle technologie et ces conséquences sur la vie scientifique, économique et sociale, Eric Drexler a créé

¹ Consultable sur le site <http://www.nanomicro.recherche.gouv.fr/>

² Consultable sur le site <http://www.scribd.com/doc/3271/Les-nanotechnologies-ethique-et-prospective-industrielle>.

l'institut américain Foresight. » (document A, p. 4).

D'autres scientifiques impliqués dans des recherches actuelles et le programme de recherche Européen Nanosafe sur la toxicité des nanoparticules sont également mentionnés. La connaissance scientifique d'éventuels risques pour la santé (fibrose, cancer mentionnés dans deux documents) est identifiée par les étudiants comme objet de controverses à propos des nanotechnologies et ils présentent à ce propos dans leurs documents plusieurs recherches en toxicologie. Les questions de la compréhension des mécanismes par lesquels des nanoparticules pourraient engendrer des effets sur la santé (franchissement de la barrière sang-cerveau et pénétration dans l'appareil respiratoire de nanotubes de carbone dans le document C) et d'un lien causal entre petite taille et toxicité accrue de nanoparticules est discutée, à l'appui de recherches menées sur des tissus animaux, comme l'illustre l'extrait suivant :

« [...] comme a affirmé Patrick Brochard, professeur au CHU de Bordeaux, la particule a une réaction toxique très active à cause de sa petite taille. [...] Due à sa petite taille, la particule pénètre facilement dans tout autre corps tel les tissus, les voies respiratoires, digestives ou cutanées et la diffusion à travers divers membranes telles que le placenta ou la barrière hémato-encéphatique et comme a dit Patrick Brochard l'organisme gère le micron mieux que le nanomètre. Patrick a annoncé que son groupe a fait des études sur des animaux du laboratoire in vitro ou in vivo par des concentrations particulières du carbone et l'oxyde de titane qui sont d'ailleurs réputés inertes. Ils ont remarqué qu'il y'a une impressionnante capacité de pénétration et des effets inflammatoires conduisant à des troubles graves tels que fibroses ou cancers comme il est le cas pour l'amiante, de la silice ou des fumées Diesel qui sont des nano particules. » (document A, p. 11).

A propos de la toxicité des nanoparticules, les étudiants se réfèrent également de façon explicite dans leurs documents à des experts dans le domaine de la santé, de l'environnement et de la sécurité au travail, comme des médecins ou des institutions (aux Etats-Unis l'Agence de Protection de l'Environnement, le Secrétariat aux produits alimentaires et pharmaceutiques et l'Agence en charge de la sécurité et de la santé de travail et en France l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement). L'engagement des pouvoirs publics et des états dans la recherche en nanotechnologies ainsi que les financements consacrés sont également discutés dans deux documents :

« Les gouvernements sont actuellement les plus grands supporteurs des nanotechnologies. Plus de 30 pays y investissent aujourd'hui massivement en Recherche et Développement (R&D). Parmi eux, les Etats-Unis, le Japon, l'Europe, la Chine, Taiwan et la Corée du Sud. Ainsi le nombre de grands programmes nationaux, d'institutions de recherche et de start-up nanos a explosé en quelques années. » (document B, p. 6).

Les étudiants présentent les arguments scientifiques de développement de savoirs à une nouvelle échelle et les arguments centrés sur la dimension économique des recherches et les potentialités lucratives des nanotechnologies pour les industriels. Les acteurs industriels mentionnés sont IBM, Minatec et Arkema à propos des microscopes permettant de visualiser et de manipuler la matière à l'échelle nanométrique et des recherches sur les fullerènes, nanotubes de carbone et transistors moléculaires.

« Ces appareils sont le microscope à effet tunnel développé par IBM dans le cadre d'une recherche industrielle et dans la suite le microscope à force atomique ont permis de manipuler et d'assembler les atomes individuels dès 1981. » (document A, p. 4).

« En fait, il faudra attendre l'invention du microscope « à effet tunnel » au début des

années 1980 par le laboratoire IBM de Zurich pour réussir à isoler des atomes. Utilisant une pointe métallique extrêmement fine qui se déplace à quelques nanomètres d'une surface, cet appareil permet, à l'aide d'une simple tension électrique, de « distinguer » les atomes, de les capturer et de les relâcher à l'endroit désiré. C'est ainsi que le laboratoire a réussi à écrire le mot « IBM » avec seulement 35 atomes. La prédiction de ce chercheur américain était alors réalisée et le principe de base des nanotechnologies mis pour la première fois en application. « d'après INDUSTRIES N°101- JANVIER 2005 » » (document E, p. 3).

Les étudiants relatent également des questions sociales, économiques, juridiques, éthiques et politiques soulevées par la recherche sur les nanotechnologies. La question de l'emploi avec une possible aggravation du chômage due aux procédés de nanofabrication par assembleurs est discutée ainsi que des risques et précautions à prendre pour les employés du secteur des nanotechnologies. Des débats sur la question des brevets, du soutien politique à la recherche, et des relations sciences-politique sont discutés ainsi que des questions de prévention ou de précaution vis-à-vis des nanotechnologies, de la législation actuelle concernant la commercialisation de produits contenant des nanotechnologies et de la mise en œuvre de débats citoyens, en particulier sur des questions de santé et d'environnement.

« La nanotechnologie déploie un large éventail de questions éthiques qui s'intéressent sur la bonne pratique, la prévention des risques c'est-à-dire la transparence des résultats et les précautions face aux incertitudes car elles sont susceptibles de contaminer d'autres domaines, entraînant ainsi une condamnation globale et sans discrimination.

Pour réguler les risques liées aux nanoparticules de manière satisfaisante, il est nécessaire de développer de nouvelles méthodes d'évaluation de la toxicité par exemple l'E.P.A (environmental protection agency) propose dans son rapport « nanotechnology white paper » la négociation entre les agences, de garantir la sécurité des êtres humains de même elle recommande l'adoption d'une nouvelle loi qui donnerait à une seule autorité régulatrice la responsabilité de la réglementation des nanomatériaux. » (document D, p. 3).

6. Discussion et conclusion

L'analyse des documents d'étude des controverses sur les nanotechnologies indique, en référence à la notion de « genres de savoirs » (Legardez, 2006) mobilisée dans notre cadre théorique, que les étudiants ne mobilisent pas de savoirs scolaires sur la question, ni de savoirs sociaux ou naturels, mais réalisent une appréhension des controverses autour de l'identification et la discussion critique de savoirs et pratiques scientifiques, experts et économiques. Les questions des modes de financement de la recherche, et des liens entre recherche-industrie et Etats sont également discutées par les étudiants.

Notre recherche indique que des interventions de classe spécifiquement construites, ici en s'appuyant sur un modèle de la scolarisation de controverses socioscientifiques (Albe, 2007) et une théorie du design (Cobb et al., 2003), peuvent être fructueuses pour amener des étudiants à s'engager dans une étude de controverse socioscientifique ou sociotechnique contemporaine qui en aborde les dimensions scientifiques (Lewis & Leach, 2006), épistémologiques, éthiques, politiques et économiques.

Bibliographie

- ALBE, V. (2007). *Des controverses scientifiques socialement vives en éducation aux sciences. Etat des recherches et Perspectives*. Mémoire de synthèse pour l'Habilitation à diriger des Recherches. Université Lyon 2.
- BADER, B. (2003). Interprétation d'une controverse scientifique : stratégies argumentatives d'adolescentes et d'adolescents québécois. *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, 3, 231-250.
- BOURAS, A. (2007). *Les nanotechnologies : une analyse sociale des controverses*. XXVIIIèmes JIES « Ecole, culture et actualités des sciences et des techniques », Chamonix, 24-28 avril 2007.
- BOURAS, A. (2006). *Epistémologie, langage et pratiques d'enseignement technologique dans les ISET*. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse Le Mirail et de l'université de Tunis.
- CHARLOT, B. (1997). *Rapport au savoir : Eléments pour une théorie*. Anthropos : Paris.
- CHEVALLARD, Y. (1991). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage (1^{ère} édition, 1985).
- CHEVALLARD, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 12, 73-112.
- COBB, P., CONFREY, J., DI SESSA, A., LEHRER, R. & SCHAUBLE, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational researcher*, 32, 9-13.
- HOGAN, K. (2002). Small groups' ecological reasoning while making an environmental management decision. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 341– 368.
- HOTTOIS, G. (2005). *La science entre valeurs modernes et postmodernité*. Paris : Vrin.
- KOLSTØ, S. D. (2001). Science Education for Citizenship - Thoughtful Decision-Making about Science-Related Social Issues. Doctoral thesis. Oslo: Unipub.
- LAROCHELLE, M. & DESAUTELS, J. (2001). Les enjeux des désaccords entre scientifiques : un aperçu de la construction discursive d'étudiants et étudiantes. *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, 1, 39-60.
- LATOUR, B. (2007). *Cours de description des controverses*. Consultable sur le site de l'Ecole des mines de Paris. <http://controverses.ensmp.fr>
- LAYTON, D. (1988). Revaluing the T in STS. *International Journal of Science Education*, 10 (5), 367-378.
- LEACH, J. (1996). Students' understanding of the nature of science. In Welford G., Osborne J. & Scott, P. (Eds.). *Research in Science Education in Europe : current issues and themes*. London : Falmer Press.
- LEGARDEZ, A. & SIMONNEAUX, L. (2006). (Eds.). *L'Ecole à l'épreuve de l'actualité. Enseigner les questions vives*. Paris : ESF.
- LEGARDEZ, A. (2006). Enseigner des questions socialement vives. Quelques points de repères. In A. Legardez & L. Simonneaux (Eds.). *L'Ecole à l'épreuve de l'actualité. Enseigner les questions vives*. Paris : ESF (pp. 19-31).
- LEGARDEZ, A. (1999). *Voies de recherche en didactique des sciences économiques, sociales et de gestion : l'exemple des Sciences Economiques et Sociales dans l'enseignement secondaire français*. Mémoire de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches.

Université de Provence.

LOCATIS, C. N. (1988). Notes on the nature of technology. *The Technology Teacher*, 47 (7), 3-6.

PATRONIS, T., POTARI, D. & SPILIOTOPOULOU, V. (1999). Students' argumentation in decision-making on a socio-scientific issue : implications for teaching. *International Journal of Science Education*, 21, 745-754.

PESTRE, D. (2003). Science, argent et politique. Un essai d'interprétation. Paris : INRA Editions.

SADLER, T. D. & ZEIDLER, D. L. (2005a). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of research in science teaching*, 42, 112-138.

SADLER, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues : a critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 513-536.

THE DESIGN-BASED RESEARCH COLLECTIVE (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational researcher*, 32 (1), 5-8.

THUILLIER, P. (1995). *La grande implosion. Rapport sur l'effondrement de l'occident 1999-2002*. Paris : Fayard.

TIBERGHEN, A., GAIDIOZ, P., & VINCE, J. (2007). *Design of teaching sequences in physics at upper secondary school informed by research results on teaching and learning: case of a sequence on mechanics*. Paper presented at the 15th Annual Conference of the SAARMSTE, Maputo.