
Nathalie Panissal, Emmanuelle Brossais et Christophe Vieu

Les nanotechnologies au lycée, une ingénierie d'éducation citoyenne des sciences

Avertissement

Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.

Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.

Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

revues.org

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le Cléo, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

Référence électronique

Nathalie Panissal, Emmanuelle Brossais et Christophe Vieu, « Les nanotechnologies au lycée, une ingénierie d'éducation citoyenne des sciences », *RDST* [En ligne], 1 | 2010, mis en ligne le 15 septembre 2012, consulté le 06 décembre 2013. URL : <http://rdst.revues.org/253>

Éditeur : Éditions de l'École normale supérieure de Lyon

<http://rdst.revues.org>

<http://www.revues.org>

Document accessible en ligne sur : <http://rdst.revues.org/253>

Ce document est le fac-similé de l'édition papier.

© Éditions de l'École normale supérieure de Lyon

Les nanotechnologies au lycée, une ingénierie d'éducation citoyenne des sciences

> **Nathalie PANISSAL**

Université Toulouse 2-Le Mirail, EA 4156 Octogone

> **Emmanuelle BROSSAIS**

Université Toulouse 2-Le Mirail, école interne IUFM Midi-Pyrénées, ERT 64 GRIDIFE

> **Christophe VIEU**

CNRS, Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS)

RÉSUMÉ • La conception et la mise en place d'une expérimentation d'enseignement des nanotechnologies dans une classe de terminale scientifique ont associé des enseignants du lycée et des chercheurs en sciences et en sciences humaines. Cette ingénierie d'éducation citoyenne des sciences poursuit trois objectifs : mettre les élèves en place de chercheurs ; faire vivre l'interdisciplinarité entre disciplines scolaires ; discuter les interactions science-société. Cette innovation didactique comprend des cours sur des savoirs liés aux nanotechnologies, une pratique expérimentale en laboratoire et une formation aux débats entre élèves sur une question socialement vive en vue de sensibiliser les lycéens aux questions éthiques.

MOTS-CLÉS • nanotechnologie, interdisciplinarité, débat.

Introduction

En 2006, des enseignants de sciences d'un lycée toulousain se sont adressés à un chercheur impliqué en nanotechnologies (CV) afin de construire un enseignement des sciences dans une classe de terminale scientifique. L'objectif était d'intéresser aux sciences des élèves qui, quoiqu'orientés dans une filière scientifique, étaient de plus en plus enclins à se tourner vers des carrières professionnelles non scientifiques (Vieu, Séverac, Pons & Panissal, 2007). Ainsi, l'enseignante de physique-chimie, instigatrice du projet, expliquait au cours d'un entretien : « ce qui m'a poussée à mettre en œuvre, c'est l'idée que dans l'avenir on ne pourrait pas se passer des nanos [...] donc l'idée c'était de les former tout de suite [...] il est urgent d'introduire les nouveautés dans les cours de physique et chimie, si on ne veut pas dégoûter les élèves de la physique et chimie de laboratoire ». Dans une perspective économique,

ce projet d'introduction des nanotechnologies dans l'enseignement scientifique vise à favoriser l'insertion professionnelle des élèves dans les secteurs de la production technoscientifique industrielle et de la recherche, ancrés dans le tissu régional industriel autour des pôles de compétitivité (Cancer-Bio-Santé, Aéronautique-Espace, Cancéropole, mission NanoInnov). Pour les chercheurs en nanotechnologies, la motivation principale est de développer une présentation différente des sciences au lycée, tournée vers l'interdisciplinarité et exposant une activité de recherche en cours de développement. À la perspective économique, s'ajoute une perspective culturelle et éthique, à laquelle les chercheurs en sciences humaines se sont associés. Le projet vise le développement d'une culture scientifique à des fins citoyennes, soit une mise en perspective critique des avancées scientifico-technologiques en nanotechnologies. Ce partenariat entre chercheurs et enseignants du secondaire a permis la conception et la mise en œuvre d'un projet d'enseignement d'éducation citoyenne aux sciences, intégrant les sciences et technologies et les disciplines « humanistes » pour une durée de trois ans. La classe expérimentale du lycée Saint-Sernin « terminale S, spécialité nanotechnologies » a débuté en 2006. Elle bénéficiait du soutien du rectorat de Toulouse et était également encouragée par un prestigieux parrain pour l'année 2008, en la personne d'Albert Fert, prix Nobel de physique.

Cet article définit les objectifs de l'innovation didactique et décrit les trois activités qui la composent.

1. Les nanotechnologies au lycée : pour un nouvel enseignement des sciences ?

Les nanotechnologies ont été choisies car elles touchent de nombreux secteurs d'application et sont appelées à connaître un fort développement dans la société, engendrant, de ce fait, de nombreux bouleversements en matière de développements économiques et industriels mais aussi des questionnements sur les relations entre sciences, technologies et société.

L'enseignement des nanotechnologies à l'université est réputé comme très difficile pour quatre raisons majeures. D'abord, il est fortement interdisciplinaire et, de ce fait, difficile à mettre en place dans les dernières années d'un cycle universitaire, alors que les étudiants sont déjà spécialisés dans des filières souvent étanches. Ensuite, les savoirs mobilisés semblent inappropriés à un enseignement avant la licence (physique quantique, biologie post-génomique, chimie supramoléculaire, etc.). De plus, l'expérimentation en travaux pratiques est lourde, en raison du coût prohibitif des instruments nécessaires à une approche par la pratique (salle blanche, microscopes à effet tunnel, systèmes de lithographie, etc.). En effet, techniquement, la réalisation des dispositifs à l'échelle nanométrique réclame un environnement contrôlé obtenu dans des salles blanches très coûteuses, où les impuretés de l'air ambiant sont sévèrement filtrées. De même, la structuration à cette échelle et l'observation des objets nanométriques nécessitent respectivement des systèmes

de lithographie et microscopie avancés, dont l'accessibilité est restreinte au chercheur. Enfin, le choix des savoirs à enseigner issus des nanotechnologies est sujet à controverses dans le cycle des études supérieures, en particulier concernant la distinction entre nanosciences et nanotechnologies. En France, on distingue, parfois avec virulence, les techniques et les outils qui permettent de structurer la matière à l'échelle nanométrique, dans le but d'applications particulières (nanotechnologies) des phénomènes scientifiques nouveaux engendrés par cette échelle de dimension (nanosciences). Malgré ces nombreuses difficultés, nous pensons qu'un enseignement scientifique, basé sur les nanotechnologies, peut être envisagé avant le cycle universitaire avec, pour principale spécificité, une présentation interdisciplinaire des concepts mis en jeu à l'échelle nanoscopique. Ces concepts généraux ou « big ideas » tels que, par exemple, l'auto-assemblage, concernent plusieurs disciplines (physique, chimie, biologie). Cette approche a déjà fait l'objet de plusieurs expériences (Greenberg, 2009). L'enjeu principal de notre projet, en prenant en considération les difficultés évoquées précédemment, est donc précisément de mettre en œuvre des modalités d'enseignement des nanotechnologies face à un public de lycéens en considérant « la question des savoirs des points de vue épistémologique et sociologique » (Hasni *et al.* 2008, p. 81). L'élaboration d'une représentation des nanotechnologies nécessite l'intégration de plusieurs disciplines (enjeu épistémologique et épistémique), favorisant la démocratisation des savoirs (enjeu sociologique).

2. Objectifs de l'expérimentation « nano »

Dans la logique des recherches de Désautels (2002), nous essayons de comprendre comment il est possible de former des citoyens alphabétisés sur le plan technoscientifique tout en contribuant à la valorisation d'une « citoyenneté active ».

2.1 Mettre les élèves en situation de chercheurs : partenariat lycée-laboratoire de recherche

La spécificité du dispositif tient à la collaboration entre un laboratoire de recherche, travaillant sur les nanosystèmes, et un lycée d'enseignement général. La figure du chercheur, et plus encore de la recherche en cours de réalisation, sont mises en avant par l'enseignante de physique-chimie à l'origine du projet, en ces termes : « notre projet repose aussi sur le partenariat lycée-chercheurs [...] mettre en contact nos lycéens avec des personnes qui font des choses qui sont en train de se faire dans leur recherche c'est bien plus important que de retransmettre encore une fois, nous les enseignants, ce qu'on imagine qui se fait dans la recherche ». Se dessine dans ces propos la différence entre une science « chaude », « contingente », en cours de construction et une science « refroidie et solidifiée » (Latour, 2008).

Les élèves se rendent au laboratoire où ils sont confrontés à la réalité de la recherche : le vécu quotidien des chercheurs, soit la « science en train de se faire », « chaude », « incertaine » et « risquée » (*ibid.*). Mais il ne s'agit pas seulement de

montrer la science « chaude ». En effet les élèves sont invités à prendre une place de chercheurs, en réalisant une pratique expérimentale dans les mêmes conditions que les chercheurs qui travaillent sur un nanodispositif (Cf. 3.2. Pratique expérimentale en laboratoire).

Une telle expérimentation place les élèves en situation de « faire comme » les chercheurs. Cette imitation dépasse l'idée « d'imprégnation passive ». Au contraire, l'imitation (Winnykamen, 1990, Bandura, 1976), au sens de la psychologie du développement, est à entendre comme une conduite active, au cours de laquelle le sujet utilise intentionnellement l'action observée d'autrui en tant que source d'information pour atteindre son propre but. Les lycéens en imitant les chercheurs, sont comme les chercheurs, mieux, ils deviennent chercheurs le temps de l'expérimentation.

Guichard, parlant du partenariat école-musée, propose de privilégier des dispositifs d'exposition développant des démarches scientifiques « en situation active de découverte des sciences et techniques en passant par le déclenchement de la curiosité, du questionnement, de l'observation, du tâtonnement expérimental. » (Guichard, 1999, p. 136). Nous nous inscrivons dans cette logique, tout en souhaitant mettre l'accent sur le rôle des chercheurs dans la médiation scientifique (Molinatti, 2007).

Le partenariat lycée-laboratoire nous semble propice à ce que les élèves appréhendent les savoirs scientifiques en leur donnant du sens, du fait de leurs liens aux résultats actuels de la recherche. La fréquentation d'une « science vivante » et l'ouverture du lycée sur le monde de la recherche permettent également aux lycéens d'interroger certains mythes à propos de la science (McComas, 1998). En ce sens, nous suivons McComas pour qui : « la science à l'école doit donner aux étudiants l'opportunité d'expérimenter la science et ses processus, en toute liberté vis-à-vis des légendes, des fausses représentations et des idéalizations inhérentes aux mythes sur la nature de l'entreprise scientifique. » [notre traduction] (*ibid.*, p. 69).

2.2 Faire vivre une interdisciplinarité entre disciplines scientifiques et « humanistes »

La compréhension, par les élèves, du monde dans lequel ils vivent, caractérisé par l'émergence d'une société du savoir et par une complexité croissante, s'accommode mal de la perception de ce monde à travers des disciplines cloisonnées qui souvent s'ignorent (Aroq & Niclot, 2006 ; Maingain, Dufour & Fourez, 2002 ; Fourez, 1994), à propos de la « scientific literacy », note qu'un des défis de l'alphabétisation scientifique, est de travailler sur des situations interdisciplinaires.

L'interdisciplinarité des nanotechnologies (Greenberg, 2009) est un atout pour créer un enseignement scientifique au lycée dans une perspective intégrée, qui dépasse la juxtaposition des disciplines académiques clivées correspondant aux traditions de l'enseignement général (Rege Colet, 2002 ; Hasni & Lebeaume, 2008).

La principale particularité de notre dispositif est de construire un modèle d'enseignement et d'apprentissage de nature fortement interdisciplinaire, en ce sens qu'il met en relation « des connaissances habituellement réparties entre différents cours » (Bailly & Schils, 1988, p. 45). L'interdisciplinarité est ici à « comprendre comme l'utilisation, l'association et la coordination des disciplines appropriées, dans une approche intégrée des problèmes » (Clary & Giolitto, 1994, p. 286) (Cf. 3.1 Savoirs transposés en cours de science). Les différentes disciplines sollicitées par le dispositif se mettent ainsi au service du projet commun : l'enseignement des nanotechnologies et leurs controverses. Notons que, pour les aspects scientifiques, il ne s'agit pas d'une simple juxtaposition de différentes techniques empruntées à des disciplines différentes, mais bien d'une construction intellectuelle où les disciplines interagissent entre elles, soit « la mise en relation de [...] plusieurs disciplines scolaires [...] qui conduit à l'établissement de liens de complémentarité ou de coopération, d'interpénétration ou d'actions réciproques entre elles sous divers aspects (finalités, objets d'étude, concepts et notions, démarches d'apprentissage, habiletés techniques, etc.), en vue de favoriser l'intégration des processus d'apprentissage et des savoirs chez les élèves » (Lenoir & Sauvé, 1998, p. 12). Par exemple, pour comprendre le principe de biodétection mis en œuvre dans le projet, il ne suffit pas seulement d'intégrer la diffraction de la lumière mais bien de comprendre comment une réaction antigène/anticorps va pouvoir modifier le phénomène de diffraction lumineux. Il faut donc à la fois intégrer la partie physique et la spécificité liée aux biomolécules. Plus précisément, l'optimisation du biodétecteur ne peut être menée que par quelqu'un qui manipule à la fois et en même temps le concept du complexe anticorps/antigène et le concept de la diffraction par un réseau (Cf. 3.2. Pratique expérimentale en laboratoire). Au-delà de cette interdisciplinarité entre les disciplines dites scientifiques, se met en place une interdisciplinarité avec les disciplines « humanistes ». En effet, la mise en place d'un débat en classe autour des nanotechnologies nécessite la mobilisation synchrone des enjeux scientifiques et technologiques, de la nature de la science et des démarches scientifiques ainsi que des questionnements éthiques et sociaux associés (Cf. 3.3. Protocole de débat argumenté sur une Question socialement vive [QSV]).

La mise en réseau de ces disciplines scolaires comporte plusieurs enjeux (Maingain *et al.*, 2002) : un enjeu cognitif, soit l'intégration de savoirs à partir du traitement de situations concrètes issues de la vie sociale et de la vie professionnelle ; un enjeu socio-affectif dans la mesure où le dispositif ouvre un espace où l'élève peut « prendre sa place, trouver l'audace de la prise de parole et la légitimation d'une intervention critique » (*ibid.*, p. 259) et un enjeu sociétal en établissant des liens entre l'univers clos du lycée et les réalités du monde extérieur, en particulier du monde de la recherche. Ainsi, nous suivons Maingain & *al.* (2002) qui affirment que « l'interdisciplinarité peut contribuer à la formation de citoyens auto formés, critiques et responsables » (*ibid.*, p. 261).

2.3 Comprendre les interactions science-société

La recherche contemporaine, ne revendiquant plus sa neutralité affichée, doit être orientée par des valeurs. Bensaude-Vincent (2009) évoque une révolution culturelle au sens où la science est considérée comme profondément culturelle.

Le courant de recherche en didactique qui envisage les interactions Sciences - Technologies - Société (Yager, 1996) s'interroge sur les conditions de formation des citoyens pour une participation aux choix scientifiques et techniques de société, plus précisément à l'école. Il s'agit d'amener les élèves à se questionner sur les avancées des sciences et des technologies par l'intermédiaire d'enseignements interdisciplinaires, permettant de relier et de contextualiser les apprentissages et leur donner du sens (Vars, 1991 ; Cassie & Haché, 1998).

Au sein du courant STS, des chercheurs anglo-saxons ont introduit la notion de SSI (socio scientific issues) (Driver, Newton & Osborne, 2000 ; Kolstø, 2001 ; Zeidler, 1984). Cette notion a été introduite afin de décrire des dilemmes sociaux affectant certains champs scientifiques tels que cellules souches, OGM, clonage, réchauffement climatique (Kolstø, 2001 ; Sadler, 2004 ; Sadler, Chambers & Zeider, 2004). Le développement des nanotechnologies et de leurs controverses fait émerger de nombreuses interrogations dans les domaines technologiques, économiques, environnementaux, éthique, philosophique et de la santé. Le recours aux débats (Sadler, 2004 ; Zohar & Nemet, 2002) est un enjeu de formation pour l'enseignement des SSI dans la perspective de Kuhn (1993) qui considère que l'enseignement des sciences ne doit pas se limiter à des activités d'exploration et de découverte mais doit relever également d'une activité de débat et de controverses.

En France, le traitement de ce type de questions est abordé sous les termes de « questions socialement vives » (QSV) qui font à la fois l'objet de débats relatifs aux savoirs savants de références dans la sphère scientifique, mais aussi dans la sphère sociale et médiatique (Legardez & Alpe, 2001). Dans le domaine des biotechnologies ou des OGM, les recherches (Simonneaux, 2003a, 2003b ; Albe, 2003) traitent de la formation aux débats, selon une approche socioconstructiviste, pour que les élèves soient capables, d'une part de prendre des décisions argumentées lorsque les faits sont incertains, d'autre part de participer aux débats.

Nous pensons que, au cours des études secondaires, les enseignants ont la responsabilité d'aider les lycéens à construire cette « citoyenneté scientifique » (Molinatti, 2007), c'est-à-dire à comprendre ces controverses en les préparant à faire face aux décisions difficiles liées aux technosciences (Cf. 3.3 Protocole de débat argumenté sur une QSV).

Les nanotechnologies sont porteuses de nombreuses QSV, dans la mesure où la communauté des scientifiques ne s'accorde pas sur leur définition (Cf. nanoscience *versus* nanotechnologies). La méfiance du grand public construite autour des avancées scientifico techniques, par exemple avec la question des OGM ou des cellules souches, s'étend aujourd'hui au domaine des nanotechnologies. La convergence des

nanotechnologies avec d'autres technologies de pointe suscite une effervescence dans les milieux de la recherche, les instances politiques et le grand public autour d'objets de science tels que les nanotubes de carbone, les laboratoires sur puces, les implants, etc. (Bensaude-Vincent, Larrère & Nurock, 2008). Ainsi, la presse, parfois avec des titres à sensation, se fait l'écho de ce que l'on appelle une révolution des nanotechnologies et de l'interdiction de nano-produits potentiellement toxiques. Des associations comme « Pièces et Main d'Œuvre » dénoncent avec virulence les « nécrotechnologies ». Les interrogations portant sur les nanotechnologies sont socialement vives au sens où les citoyens, face à ce domaine flou et mal défini, expriment des craintes vis-à-vis d'une technologie perçue comme invisible (le nanomètre échappe à l'œil humain), puissante (par analogie avec les processeurs de nos ordinateurs) et envahissante (syndrome du « Big brother ») voire portant atteinte à la santé (nanoparticules). Que faut-il en penser ? De quoi s'agit-il exactement ? Que risquons-nous ? Quelle est la part du possible et celle du fantasme ?

Former, au niveau de l'école, des citoyens au débat sur des questions de choix technologiques relatifs au développement des nanotechnologies, constitue donc une innovation sociale relevant de la préparation au rôle de citoyen éclairé.

3. Déroulement de l'ingénierie d'éducation citoyenne des sciences

Une conférence inaugurale de deux heures donnée par un chercheur en nanotechnologies permet de définir les nanotechnologies, de préciser les domaines d'applications visés, de présenter les instruments scientifiques de laboratoire dédiés à leur mise en œuvre et d'introduire les questions socio-scientifiques associées. Elle est suivie d'une visite du laboratoire et en particulier de la salle blanche de nano-fabrication.

Classe	Terminale scientifique
Nature du projet	La classe participe à 3 activités interdisciplinaires sur le thème nano : des cours au lycée, une journée de pratique au laboratoire de recherche, un débat au lycée.
Disciplines impliquées	Physique-chimie, mathématiques, SVT, philosophie, anglais, histoire-géographie-éducation civique juridique et sociale
Objectifs	Mettre les élèves en place de chercheurs en sciences Faire vivre une interdisciplinarité entre matières scientifiques et « humanistes » Comprendre les interactions entre science et société
Durée	6 mois (40 heures) de septembre à mars
Produits	Un débat argumenté sur les controverses des nanotechnologies dans la société Un dispositif de bio-détection médicale nanotechnologique/ nanobiodétecteur

Tableau : Résumé des principales phases de l'expérimentation d'ingénierie d'éducation citoyenne des sciences

Le projet comporte trois activités qui structurent notre stratégie didactique (cf. tableau). Tout d'abord des cours, dispensés par des chercheurs portant sur des concepts au programme de la classe de terminale scientifique, présentés sous un angle interdisciplinaire et mobilisés pour le projet en nanotechnologies de cette classe (20 heures au lycée) ; puis un travail pratique expérimental conduit dans le cadre d'un laboratoire, au plus près des pratiques scientifiques actuelles (6 heures) ; enfin l'organisation de débats pour encourager une réflexion éthique, dans le cadre de l'éducation des futurs citoyens, à faire face à l'incertitude liée aux technosciences et à leur impact sur la société (12 heures)

3.1 Savoirs transposés en cours de science

Le fil conducteur que nous avons retenu pour cet enseignement se rapporte au domaine d'étude des chercheurs du LAAS-CNRS soit « les nanotechnologies et la santé », plus précisément l'étude d'un nano-système pour le diagnostic médical. Les cours au lycée portent sur les concepts du programme de la terminale scientifique qui sont nécessaires à la conception, la fabrication et la mesure de ce nanosystème de biodétection. Le contenu de ces cours a été construit en collaboration par les chercheurs développant ce nanosystème et les enseignants du lycée des différentes matières concernées (physique-chimie, sciences de la vie et de la Terre et mathématiques). Nous adhérons au propos de Hasni et ses collègues (2008) qui estiment que la planification et la mise en œuvre des activités interdisciplinaires suppose une « analyse curriculaire afin de déterminer les points de complémentarité et de convergence entre les différentes matières puis une collaboration entre les spécialistes disciplinaires lors de la planification et lors de l'enseignement et de l'évaluation des apprentissages » (*ibid.*, p. 83).

Après ces cours théoriques, lors des travaux pratiques en laboratoire, les lycéens fabriquent puis expérimentent un nanodispositif de biodétection. L'objectif visé est que l'élève perçoive plus facilement l'intrication des matières scientifiques, dès lors qu'un projet menant à une réalisation concrète mobilise des questions disciplinaires. Il s'agit d'un dispositif optique utilisant la diffraction de la lumière par un réseau de molécules afin de détecter de manière très sensible des interactions de type antigène/anticorps, qui prennent place lors d'une analyse immunologique à la surface du réseau.

Les savoirs sous l'angle des nanotechnologies se trouvent à la fois dans la méthode de fabrication de ce réseau diffractif moléculaire (la lithographie douce), dans l'interaction spécifique entre biomolécules et dans la sensibilité de la détection qui dépend étroitement de la taille des motifs moléculaires du réseau (ici des tailles nanométriques). Ce choix nous permet de sélectionner des savoirs à enseigner issus des nanotechnologies s'intégrant aux savoirs scolaires du programme de terminale scientifique, dans les disciplines impliquées dans le projet.

En physique, l'enseignement porte sur la diffraction de la lumière. Le comportement de la lumière face à un obstacle, fente ou fil, est enseigné en

terminale scientifique. Le comportement de la lumière face à un réseau moléculaire simplifié par une série de fentes équidistantes est enseigné dans la classe expérimentale terminale S, spécialité nanotechnologies (cf. introduction). En mathématiques, l'enseignement porte sur la modélisation de la figure de diffraction, en particulier par les fonctions $\sin(x) / x$, et $(\sin(x) / x)^2$. Ce concept est problématisé par la nécessité de prévoir et simuler par le calcul les variations de l'intensité lumineuse diffractée par le dispositif de détection lors du test immunologique. Le calcul donne accès à la sensibilité du dispositif et donc à son intérêt éventuel pour la médecine. Les mathématiques ont ainsi davantage de chances d'apparaître, aux yeux des lycéens, comme matière incontournable pour la modélisation et la prédictibilité de phénomènes scientifiques. En chimie, l'enseignement porte sur les matériaux organiques et leurs propriétés particulières. Ce concept est problématisé par la nécessité de fabriquer le dispositif et, en particulier, par la réalisation du réseau diffractif constitué de molécules chimiques disposées sous la forme de lignes régulièrement espacées. Le procédé de fabrication mis en œuvre lors des expériences utilise un polymère élastomère et requiert la préparation de surfaces de verre, traitées par des molécules chimiques permettant l'adhésion des protéines. En sciences de la vie et de la Terre, l'enseignement porte sur la réaction antigène/ anticorps ainsi que sur les tests biologiques de détection ELISA (Enzyme-Linked Immuno-Sorbent Assay pour la détection des anticorps) et le Western Blot (pour la détection des protéines du virus) : la maladie du SIDA est l'exemple traité en terminale scientifique. L'étude du fonctionnement du nanosystème mobilise les connaissances déjà acquises dans le cours et permet sa comparaison avec les autres techniques immunologiques précédemment étudiées.

3.2 Pratique expérimentale en laboratoire

Se baser sur des expérimentations présente un double avantage : d'une part, inscrire les savoirs sélectionnés dans une réalisation concrète mise en œuvre par les lycéens eux-mêmes et, d'autre part, enseigner aux lycéens une forme de démarche expérimentale. La manipulation concerne le nanodispositif de biodétection, en cours d'étude au sein du LAAS-CNRS et ayant fait l'objet d'un brevet récent ; elle met en pratique les savoirs sélectionnés pour les cours. En effet, ce dispositif fonctionne sur une détection optique mettant en jeu la diffraction de la lumière (cours de physique), la fabrication du dispositif est effectuée par nanolithographie douce pour laquelle il faut fabriquer un moule en polymère et fonctionnaliser chimiquement les surfaces du substrat (cours de chimie), la biodétection concerne l'interaction entre un anticorps et un antigène (cours de sciences de la vie et de la Terre), la sensibilité de la détection est modélisable (courbe en $\sin x / x$) par l'analyse du signal de diffraction (cours de mathématiques). Les lycéens peuvent décider d'expérimenter particulièrement tel ou tel élément de cette chaîne (nanofabrication, diffraction optique, modélisation ou protocole biologique), la durée d'une journée ne permettant pas de réaliser l'intégralité du procédé.

Les lycéens réalisent cette pratique expérimentale au sein du laboratoire de recherche, au contact des chercheurs. Ils sont mis dans une situation proche de celle des chercheurs travaillant actuellement sur ce sujet. Les doctorants, qui encadrent ce stage expérimental, expliquent aux élèves l'avancée de leurs travaux, les résultats déjà obtenus et les questions non encore résolues qu'ils se posent. Les doctorants et les lycéens décident conjointement de réaliser une expérimentation originale, dédiée à une des questions non encore élucidées. Le contrat alors passé entre le doctorant et les lycéens est le suivant : le doctorant permet aux élèves, par groupe de trois, de réaliser l'expérience de leur choix sur ce nanodispositif, en veillant à ce que les expériences soient faisables, puis réalisées dans de bonnes conditions opératoires (propreté, sécurité ; etc.), sans garantie en aucune manière du résultat qui sera obtenu. A l'issue de la journée, les lycéens décident si ce résultat permet ou non de répondre à la question de départ et proposent des alternatives d'expériences futures afin d'améliorer la qualité et l'interprétabilité de ce résultat. Ils sont également amenés à analyser leur choix de questions de départ et à réfléchir à la façon de poser correctement un problème scientifique. Cette synthèse des résultats de laboratoire est menée dans une perspective de croisement des différentes disciplines contributives.

3.3 Protocole de débat argumenté sur une Question socialement vive (QSV)

Une réflexion éthique sur les enjeux sociétaux des nanotechnologies s'appuie sur la mise en œuvre d'un débat argumenté sur une Question socialement vive (QSV) soulevée par les controverses liées aux nanotechnologies. Une attention particulière est portée à la préparation de ce débat, conçue par les chercheurs en sciences, en sciences humaines et les enseignants d'histoire-géographie-ECJS (éducation civique juridique et sociale), d'anglais et de philosophie.

Le débat est le produit final d'un processus qui, dans son ensemble, contribue à la formation de citoyens éclairés au travers de quatre phases successives :

La première phase concerne l'usage par les lycéens d'un dossier documentaire. Une des questions didactiques délicates relève de l'articulation entre, d'une part, la volonté de dévoluer aux élèves la responsabilité d'instruire une question et, d'autre part, la sélection des documents à leur fournir pour permettre de l'initier. En ce sens, un dossier documentaire, conçu par les chercheurs et tenant compte de l'équilibre à réaliser, est communiqué en début d'année aux élèves. Ce dossier est composé d'un assortiment d'extraits choisis d'articles scientifiques, de documents philosophiques, de rapports éthiques contemporains français et étrangers, d'articles de presse, d'articles d'associations s'opposant aux nanotechnologies. Il permet d'initier la dévolution de la question afin d'engager les élèves à l'approfondir à partir de recherches personnelles. Sur le plan didactique, il s'agit ainsi de s'inscrire dans une dialectique des média et des milieux.

La deuxième phase concerne un temps de problématisation encadré par des enseignants. Pour préparer la rencontre avec des spécialistes, les élèves définissent

collectivement en demi-classe la question socialement vive, support du débat, qui semble légitime pour l'ensemble des participants, relativement aux thèmes du dossier documentaire. Puis chaque groupe de discussion formule des questions pour les spécialistes.

Au cours de la troisième phase, chaque demi-classe rencontre deux spécialistes (un philosophe et un généticien) successivement et leur fait part durant une heure des interrogations soulevées grâce au dispositif didactique mis en place (recherche documentaire, stage expérimental au laboratoire LAAS-CNRS). Les spécialistes sont des chercheurs dont les thématiques de recherche portent respectivement sur la génétique et l'éthique des sciences, pour l'un, et l'éthique des nanotechnologies, pour l'autre.

La quatrième phase correspond à un débat d'une heure entre élèves, organisé au lycée. Nous demandons aux lycéens d'argumenter à partir de la question socialement vive retenue. Les débats ont lieu en présence d'un modérateur. L'enseignant d'histoire-géographie-ECJS de la classe remplit cette fonction pour un groupe et un chercheur sur les nanotechnologies ayant enseigné les savoirs transposés, pour l'autre groupe.

Les élèves engagés dans l'expérimentation ont formulé des questions socialement vives en ces termes : « dispose-t-on d'une maîtrise suffisante des nanotechnologies pour modifier l'être humain et en a-t-on le droit ? » ; « peut-on se permettre la création d'un surhomme ? » ou encore : « les nanotechnologies peuvent-elles améliorer l'homme et est-ce souhaitable ? ».

Au cours des débats portant sur l'augmentation de l'homme par les nanotechnologies, la teneur des interactions langagières a montré la coexistence d'arguments éthiques et d'arguments techniques. Ainsi, un élève affirme-t-il : « je pense que les nanotechnologies peuvent être une avancée scientifique très efficace dans le domaine de la médecine, surtout pour améliorer les capacités des handicapés ». Les thématiques abordées dans les débats révèlent les préoccupations des adolescents sur des questions scientifiques (expérimentation scientifique humaine, toute puissance de la science et ses dangers), dans le domaine géopolitique (inégalités sociales, équilibre entre pays développés et sous développés) ou dans le champ de la morale (bonheur, législation et réglementation). Leurs questionnements, par exemple sur la norme et la loi pour encadrer les progrès scientifiques des nanotechnologies, rejoignent ceux traités par les comités d'éthique des pays industrialisés. Ainsi, l'intervention d'un lycéen : « oui il faut que l'on fasse un contrôle très draconien de la recherche en nanotechnologies mais il faut la maintenir car les débouchés sont quand même considérables » fait écho à une conclusion d'un rapport public qui mentionne que « les nanotechnologies ouvrent un continent immense que l'homme va devoir normer s'il veut leur donner sens et finalité ». La question de la prévention des risques, des impacts sociétaux et des impacts culturels des technosciences ne sont certes pas inédits mais l'éthique des

nanotechnologies permet de renouveler l'exploration de ce champ : manipulation des nanoparticules et toxicologie ; liberté humaine, vie privée et paix mondiale ; eugénisme, brouillage artifice/nature (Bensaude-Vincent, 2009).

Conclusion

Différents rapports européens et internationaux indiquent que ces technologies de la miniaturisation à l'échelle moléculaire doivent faire l'objet d'un enseignement préuniversitaire au lycée voire au collège (CORDIS, 2005). Dans les programmes d'enseignement des nanotechnologies avant l'université, mis en place aux Etats-Unis, par exemple les réflexions didactiques se focalisent quasiment exclusivement sur les disciplines scientifiques (Greenberg, 2009) et instrumentalisent les aspects sociétaux sous l'angle restreint de l'acceptabilité sociale, pour comprendre les motivations du grand public à soutenir les innovations technologiques (Roco & Bainbridge, 2007).

Nous avons construit un dispositif d'éducation scientifique et citoyenne sous l'angle des nanotechnologies, en partenariat avec des enseignants-chercheurs de sciences et de sciences humaines et des enseignants du secondaire. Ce projet innovant est pionnier en France et en Europe et s'inscrit dans cette expérimentation sociale que Bensaude-Vincent (2009) qualifie d'utopie et qui cherche à articuler les trois piliers de notre culture : nature/technique/société.

Nous affirmons l'intérêt de proposer une éducation scientifique et citoyenne intégrée. En effet, donner du sens aux apprentissages scientifiques peut prendre la forme d'un enseignement scientifique interdisciplinaire, ayant comme fil conducteur un projet de manipulation expérimentale, qui permet d'étudier la science dans des contextes culturels et sociaux.

Nous avons montré que les nanotechnologies se prêtent particulièrement bien à cet enjeu éducatif (Panissal & Vieu, 2008). Cependant, cette thématique scientifique n'appartient pas au curriculum français. Les élèves de terminale et leurs enseignants, préoccupés par la préparation du baccalauréat, peuvent ne pas souhaiter s'investir dans des activités hors programme coûteuses en temps et en implication personnelle. Nous envisageons donc la construction de nouveaux dispositifs dans des classes de première et de troisième pour s'affranchir des contraintes du baccalauréat. Les nanotechnologies peuvent s'apparenter aux thèmes de convergence travaillés au collège, qui supposent « une transformation, une reconfiguration voire un élargissement des spécialités enseignantes » (Coquidé, in Hasni & Lebeaume, 2008, p. 69). De plus, les enseignants des disciplines scientifiques peuvent être réticents à s'approprier un objectif de développement de culture scientifique comme l'ont montré Albe et Ruel (2008). Ainsi, le discours des enseignants de sciences physiques, qu'elles ont étudié, témoigne d'un attachement aux « concepts scientifiques considérés comme n'ayant pas de relation avec les questions sociales » (*ibid.*, p. 140). Pour contrebalancer cet ethnocentrisme disciplinaire, l'interdisciplinarité

que nous défendons n'est pas circonscrite aux disciplines scientifiques. L'intérêt du dispositif présenté est d'associer des enseignants de sciences et des enseignants des disciplines « humanistes ». Ainsi, les enseignants d'anglais, de philosophie et d'histoire-géographie-ECJS participent au projet et intègrent des contenus de savoirs issus des nanotechnologies dans leurs séances de classe ordinaire (Jourdan, Panissal, Brossais, 2009). Enfin, cette ingénierie, qui nécessite un personnel hautement qualifié dans le domaine de recherche pour encadrer les élèves et suppose l'accès à une salle blanche ainsi que l'usage d'appareils de pointe, rend indispensable la participation d'un laboratoire spécialisé dans l'étude des nanotechnologies.

L'analyse de cette innovation didactique nous conduit à identifier les conditions et les contraintes de l'introduction de l'enseignement des nanotechnologies dans les classes de lycée français. Son évaluation offre ainsi des retombées en matière de recherche. Un enjeu principal de notre expérimentation est d'étudier les modalités et les méthodes pour réussir cet enseignement au niveau des classes secondaires : conception des enseignements, nature des stages expérimentaux dédiés aux nanotechnologies, conception de protocole de débats et de leurs variantes.

Notre travail pose de nombreuses questions de recherche en didactique liées à la spécificité des nanotechnologies et à l'approche d'éducation citoyenne aux sciences. En effet, cette innovation est l'occasion d'expérimenter de nouveaux contenus de savoir, par nature interdisciplinaires qui comportent, comme nous l'avons vu, des enjeux épistémologiques et sociétaux. Elle propose de recourir à une « co-élaboration » entre deux laboratoires de recherche et une équipe d'enseignants dans un lycée. Elle revendique une complémentarité effective entre sciences expérimentales et humaines.

Cette innovation adresse à la communauté didactique des questions telles que...

Quels doivent être les processus de transposition propres aux savoirs et aux pratiques issus des nanotechnologies, mettant en jeu des références multiples ? Comment s'organise cette transposition en lien avec les programmes nationaux (Roussel, Panissal, Terrisse, 2010) ? Le concept de milieu est-il un analyseur pertinent des enjeux de transactions didactiques entre chercheurs et élèves dans la classe et lors des stages expérimentaux ?

Quelles postures adoptent les chercheurs impliqués dans ce partenariat université-lycée ? Qu'en est-il des espaces de développement professionnel ouverts par cette recherche participative (Brossais, Jourdan, Panissal, 2009) ?

La forme de débat est-elle propice au développement de compétences argumentatives des élèves ? Quel est le rôle de l'animateur dans la tenue du débat et ses effets sur les interactions langagières ? Quelle transposition de pratiques de démocratie participative (exemple : le débat public) peut on envisager ? Quelles questions éthiques sont explorées par des lycéens à propos des controverses liées

aux nanotechnologies (Panissal, Brossais, Vieu, 2008) ? En quoi l'enseignement de questions socialement vives peut contribuer à l'éducation éthique des élèves ?

Nathalie PANISSAL

nathalie.panissal@toulouse.iufm.fr

Emmanuelle BROSSAIS

emmanuelle.brossais@toulouse.iufm.fr

Christophe VIEU

cvieu@laas.fr

BIBLIOGRAPHIE

- ALBE V. (2003). Incertitudes, ignorances et questionnements soulevés par une controverse technoscientifique sur les dangers de la téléphonie mobile. In A. Giordan J., L. Martinand & D. Raichvarg (éd.) *Ignorances et questionnements. Actes des XXV^{es} Journées Internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et industrielles*. Paris : Dires.
- ALBE V. & RUEL F. (2008). Des enseignements de sciences dans une perspective d'éducation citoyenne ? *Didaskalia*, n° 33, p. 121-140.
- AROQ C. & NICLOT D. (2006). *Disciplines scolaires et interdisciplinarité au collège et au lycée*. Texte présenté à la huitième biennale de l'Éducation et de la Formation. Expérience(s), savoir(s), sujet(s). Lyon : INRP, 11-14 avril.
- BAILLY J.-M. & SCHILS J. (1988). Trois niveaux d'interdisciplinarité dans l'enseignement secondaire. In *Des chemins pour apprendre*, Bruxelles, Bureau pédagogique de l'enseignement catholique, Fédération nationale de l'enseignement catholique, p. 45-47.
- BANDURA A. (1976). *L'apprentissage social*. [trad. en français, 1980]. Bruxelles : Mardaga.
- BENSAUDE-VINCENT B., LARRERE C. & NUROCK V. (2008) *Perspectives critiques sur les bionanotechnologies*. Paris : Vuibert.
- BENSAUDE-VINCENT B. (2009). *Les vertiges de la technoscience*. Paris : La Découverte.
- BROSSAIS E., JOURDAN I. & PANISSAL N. (2009). De l'influence d'une expérimentation pédagogique basée sur les nanotechnologies sur la dynamique professionnelle des enseignants. *Actes du 7^e colloque de la CDIUFM : Recherche(s) en éducation et en formation, Mont-Saint-Aignan. Le développement professionnel des enseignants. Le point de vue des sujets, 3-5 juin* [Cédérom].
- CASSIE J.R.B. & HACHÉ D. (1998). L'utilisation d'une heuristique curriculaire pour créer un apprentissage adapté à la vie. *Revue des sciences de l'éducation*, XXIV(3), p. 3-29.

- CLARY M. & GIOLITTO P. (1994). *Profession enseignant - Éduquer à l'environnement*. Paris : Hachette.
- COQUIDÉ M. (2008). Les disciplines scolaires et leurs enseignements spécialisés : distinguer pour pouvoir articuler et travailler ensemble. In A. Hasni & J. Lebeaume. *Interdisciplinarité et enseignement scientifique et technologique*. Sherbrooke : Éd. du CRP et Lyon : INRP, p. 51-74.
- CORDIS (2005). *Research Training in Nanosciences and Nanotechnologies: Current Status and Future Needs, Proceedings of the workshop held in Brussels, 14-15 April 2005*. Disponible sur Internet : <http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=prog.document&PG_RCN=5288435>.
- DÉSAUTELS J. (2002). L'alphabétisation technoscientifique et la démocratisation de la démocratie. *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et de la technologie*, n° 2, p. 189-195.
- DRIVER R., NEWTON P. & OSBORNE J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, n° 84, p. 287-312.
- FOUREZ G. (1994). *Alphabétisation scientifique et technique*. Bruxelles : De Boeck.
- GREENBERG A. (2009). Integrating Nanoscience into the Classroom : Perspectives on Nanoscience Education Projets. *ACS Nano*, vol. 3, n°4, p. 762-769.
- GUICHARD J. (1999). Fruits d'un partenariat école-musée, des expositions pour participer à la formation scientifique des élèves. *Aster*, n° 29, p. 131-145.
- HASNI A., LENOIR Y., LAROSE F., SAMSON G., BOUSADRA F. & SATIRO DOS SANTOS C. (2008). Enseignement des sciences et technologies et interdisciplinarité: point de vue d'enseignants du secondaire au Québec. In A. Hasni & J. Lebeaume, *Interdisciplinarité et enseignement scientifique et technologique*. Sherbrooke : Éd. du CRP et Lyon : INRP, p. 75-110.
- HASNI A. & LEBEAUME J. (2008). *Interdisciplinarité et enseignement scientifique et technologique*. Sherbrooke : Éd. du CRP et Lyon : INRP.
- KOLSTØ S. D. (2001). Scientific literacy for citizenship : tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education*, n° 85, p. 291-310.
- KUHN D. (1993). Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, n° 77, p. 319-337.
- JOURDAN I., PANISSAL N. & BROSSAIS E. (2009). Impact d'une ingénierie d'éducation citoyenne des sciences sur les pratiques d'enseignants de lycée. *Sixièmes journées scientifiques de l'ARDiST, Nantes, 14-16 octobre*.
- LATOUR B. (2008). *Le Métier de chercheur, regard d'un anthropologue*. Paris : INRA éditions [2^e édition revue et corrigée].

- LEGARDEZ A. & ALPE Y. (2001). La construction des objets d'enseignements scolaires sur des questions socialement vives : problématisation, stratégies didactiques et circulations des savoirs. *Actes du 4^e congrès de l'AECSE Actualité de la recherche en éducation et formation, Lille, 5-8 septembre* [Cédérom]
- LENOIR Y. & SAUVÉ L. (1998). Interdisciplinarité et formation à l'enseignement primaire et secondaire. *Revue des sciences de l'éducation*, XXIV(1), p. 31-50.
- MCCOMAS W. F. (1998). The principal elements of the nature of science: dispelling the myths. In W. F. McComas (éd.), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*. Boston : Kluwer Academic Publishers, p. 53-70.
- MAINGAIN A., DUFOUR B & FOUREZ G. (2002). *Approches didactiques de l'interdisciplinarité*. Bruxelles : De Boeck.
- MOLINATTI G. (2007). *Médiation des sciences du cerveau. Approche didactique et communicationnelle de rencontres entre neuroscientifiques et lycéens*. Thèse, Muséum national d'histoire naturelle, Paris.
- PANISSAL N. & VIEU C. (2008). Nanotechnologies at school: a new approach combining scientific knowledge and ethical issues. *Nanoscale Science and Engineering Education. The 2008 Global NSEE workshop. Washington, 13-15 novembre*.
- PANISSAL N., BROSSAIS E. & VIEU C. (2008). An innovative pedagogical experiment for educating high school students to nanobiotechnologies: new approach of scientific knowledge and ethical issues. *BioEd conference, Biological Sciences Ethics and Education; The Challenges of Sustainable Development*, Autun-Auxerre-Dijon, juin 2008.
- REGE COLET N. (2002). *Enseignement universitaire et interdisciplinarité: Un cadre pour analyser, agir et évaluer*. Bruxelles : De Boeck.
- ROCO M.C. & BAINBRIDGE W.S. (2007). Nanotechnology: Societal Implications II. *Individual Perspectives*, Dordrecht : Springer.
- ROUSSEL C., PANISSAL N. & TERRISSE A. (2010). Le chercheur dans l'institution scolaire : l'analyse de l'enseignement des nanobiotechnologies dans une classe de terminale scientifique. II Congrès international de didactiques ; L'activitat del docent: Intervenció, Innovació, Investigació, Gérone (Espagne), février 2010.
- SADLER T.D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 41, n° 5, p. 513-536
- SADLER T.D., CHAMBERS F.W. & ZEIDELER D.L. (2004). Student conceptualisations of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education*, n° 26, p. 387-409.

- SIMONNEAUX L. (2003a). Des situations-débats pour développer l'argumentation des élèves sur les biotechnologies : compte rendu d'innovation. *Didaskalia*, n° 19, p. 127-157.
- SIMONNEAUX L. (2003b). Argumentation dans les débats en classe sur une technoscience controversée. *Aster*, n° 37, p. 189-214.
- VARS G.F. (1991). Integrating the curriculum: Integrated curriculum in Historical Perspective. *Educational Leadership*, vol. 49, n°2, p. 14-15.
- VIEU C., SÉVERAC C., PONS D. & PANISSAL N. (2007). The "open-lab" initiative or how to sensitize young French students to nanoscale research before the university. *Journal of Materials Education*, vol. 29, n°1-2, p. 149-158.
- WINNYKAMEN F. (1990). *Apprendre en imitant ?* Paris: PUF.
- YAGER R.E. (1996). History of science/technologie/society as reform in the United States. In R.E. YAGER (éd.) *Science/technologie/society as reform in science education*. Albany, State University of New York Press, p. 3-15.
- ZEIDLER D.L. (1984). Moral issues and social policy in science education: Closing the literacy gap. *Science Education*, n° 68, p. 411-419.
- ZOHAR A. & NEMET F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, n° 39, p. 35-62.

ANNEXE

Ressources bibliographiques du dossier préparatoire au débat remis aux élèves

Dossier documentaire : Les enjeux éthiques des nanotechnologies

L'analyse de ce dossier est un préalable à la tenue du débat portant sur le thème « Quels usages des Nanotechnologies dans la cité et quels risques leur sont associés ? ».

Le dossier, constitué de 16 documents, propose plusieurs types de discours :

- Chercheurs en Nanotechnologies
- Presse
- Organismes officiels et/ou gouvernementaux
- Citoyens contestataires
- Spécialistes des questions éthiques

Il est organisé en deux parties : une partie proposant des informations dans ce domaine et une partie présentant des écrits critiques.

A. Partie informative

Document 1 : Extrait d'un dossier québécois sur les nanotechnologies issu de *l'Encyclopédie de l'Agora*. <<http://agora.qc.ca/mot.nsf/Dossiers/Nanotechnologie>>

Document 2 : Extrait de la brochure, réalisée par le ministère délégué de la Recherche et des nouvelles technologies à l'occasion de la Fête de la Science en octobre 2003, *A la découverte du nanomonde*. <<http://www.nanomicro.recherche.gouv.fr/docs/plaq.nanomonde.pdf>>

Le site <<http://www.nanomicro.recherche.gouv.fr/nanomonde>> propose d'autres types de documents.

Document 3 : Extrait d'une conversation avec Jean-Pierre Launay, directeur du CEMES-CNRS de Toulouse (Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales).

<http://www.agrobiosciences.org/IMG/pdf/conversation_sur_les_nanos_debat_explosif.pdf>

B. *Partie critique*

Document 4 : Extraits d'un article d'Antonio Fischetti consacré aux "dérives de la nanophobie" *Charlie Hebdo*, 29 novembre 2006 et réponse de « Pièces et main d'œuvre » (PMO)

<http://www.piecesetmainoeuvre.com/spip.php?page=resume&id_article=90>

Document 5 : Problèmes sociétaux et éthiques dans les nanotechnologies (août 2006)

<<http://www.nanomateriauxetsecurite.fr/node/270>>

Document 6 : Applications dans le domaine de la santé : le cancer. *Nanotechnologies Technologies Internationales*, n° 141

<http://www.bulletins-electroniques.com/ti/141_01.htm>

Document 7 : Dossiers Sagascience du CNRS « Nanotechnologies et santé »

<<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosnano>>

Document 8 : Extrait de la Loi n° 2004-800 du 6 août 2004 relative à la bioéthique

<<http://www.legifrance.gouv.fr/WAspad/UnTexteDeJorf?numjo=SANX0100053L>>

Document 9 : Site de bricolage pour la construction d'un esprit critique grenoblois - Pièces et main d'œuvre, rubrique Nécrotechnologies, *Aujourd'hui le nanomonde*, n° 13, 1^{er} juin 2007

<http://www.piecesetmainoeuvre.com/IMG/pdf/Aujourd_hui_le_nanomonde_13.pdf>

Document 10: Max More, mars 2003 Les principes de l'extropie (transhumanisme) <<http://editions-hache.com/essais/more/more1.html>>

Document 11 : Premier virus pour puces RFID très contagieuses. Par Christophe Olry, Futura-Sciences, 16 mars 2006 <http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/technologie-1/d/premier-virus-pour-puces-rfid-tres-contagieuses_8469>

Document 12 : RFID : dangers et dérives des puces sous-cutanées

<http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/technologie-1/d/rfid-dangers-et-derives-des-puces-sous-cutanees_9090/>

Document 13 : Extrait du rapport de la Commission de l'éthique de la Science et de la Technologie, juin 2006 Gouvernement du Québec : *Evaluation de la toxicité (Page xxii). Diagnostics et applications thérapeutiques (Page xxiii). Applications thérapeutiques (page 50-51). Quelques exemples d'applications « nanomilitaires »* : (p 55). *L'identité humaine dans un contexte d'optimisation des performances* (p 57). <www.ethique.gouv.qc.ca>

Document 14 : Futura sciences, le magasin high tech - Philippe Houdy, physicien nanosciences.

La révolution des nanotechnologies - 28/04/2008

<http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/technologie/d/les-nanosciences-avancees-risques-problemes-societaux-ethique_790/c3/221/p1/>

Document 15 : Policies for a 'nanosociety': can we learn now from our future mistakes? *The Eight ETHICOMP International Conference on the Social and Ethical Impacts of Information*

and Communication Technologies - Linköping, Sweden, 12-15 September 2005. <<http://www.ccsr.cse.dmu.ac.uk/conferences/ethicomp/ethicomp2005/abstracts/22.html>>

Document 16 : *Les nanotechnologies : éthique et prospective industrielle* Jean-Pierre Dupuy et Françoise Roure

<<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/054000313/index.shtml>>

Abstracts • Zusammenfassungen • Resúmenes

Nanotechnologies in high school: planning citizenship teaching in science class

The planning and setting up nanotechnology-teaching experimentation in grade 12 involve high-school teachers and researchers in science and human sciences. These citizenship teaching plans in science class has three objectives: put the students in the researchers' place; keep interdisciplinarity going between school subjects; and understand science-society interactions. This didactic innovation includes teaching knowledge from nanotechnologies, laboratory experimental practice, and training students to debate on topical issues in order to make them aware of ethical issues.

KEYWORDS • nanotechnology, interdisciplinarity, dispute.

Nanotechnologien am Lycée (Oberstufe): eine Projektplanung der wissenschaftlichen Bürgeraufklärung

Die Konzeption und Umsetzung einer Unterrichtsexperimentierung über Nanotechnologien in einer 12. Klasse verbinden Oberstufenlehrer und Forscher in Wissenschaften und in Geisteswissenschaften. Diese Projektplanung der wissenschaftlichen Bürgeraufklärung verfolgt drei Ziele : die Schüler an die Stelle der Forscher stellen, fachübergreifend arbeiten und die Interaktionen zwischen Wissenschaft und Gesellschaft verstehen. Diese didaktische Neuerung umfasst eine Unterrichtsreihe über Kenntnisse aus den Nanotechnologien, eine experimentelle Tätigkeit im Labor und eine Ausbildung zur Debatte zwischen Schülern über eine sozial akute Frage, um die Schüler mit ethischen Fragen zu sensibilisieren.

Las nanotecnologías en el instituto: una ingeniería de educación ciudadana de las ciencias

La concepción y la instalación de un experimento de enseñanza de las nanotecnologías en una clase de 2º de Bachillerato opción ciencias, asocian docentes de instituto e investigadores en ciencias y en ciencias humanas. Esta ingeniería de educación ciudadana de las ciencias tiene tres objetivos: poner a los alumnos en el lugar de los investigadores; hacer vivir la interdisciplinaridad entre asignaturas escolares; comprender las interacciones ciencia-sociedad. Esta innovación didáctica se compone de clases sobre saberes procedentes de las nanotecnologías, una práctica experimental en laboratorio y una formación para los debates entre alumnos sobre una cuestión socialmente candente en vista de sensibilizar a los alumnos de instituto sobre cuestiones éticas.