

Éthique et nanotechnologies :
se donner les moyens d'agir

Résumé et recommandations de l'avis

Commission de l'éthique de la science et de la technologie

1200, route de l'Église
3^e étage, bureau 3.45
Québec (Québec)
G1V 4Z2

En soutien à la réalisation de l'Avis

Coordination et supervision

Diane Duquet

Secrétaire de réunion

Emmanuelle Trottier

Recherche et rédaction

Emmanuelle Trottier et Diane Duquet, avec la collaboration d'appoint de Marco Blouin

Soutien technique

Documentation

Monique Blouin

Communication et supervision de l'édition

Katerine Hamel

Révision linguistique

Le Graphe

Conception graphique de la couverture

Normand Bastien

Avec le soutien financier de la Société pour la promotion
de la science et de la technologie

Conception et mise en pages

Éditions MultiMondes

Impression

K2 Impressions

Avis adopté à la 25^e réunion de la Commission de l'éthique de la science et de la technologie
le 14 juin 2006

© Gouvernement du Québec 2006

Dépôt légal: 4^e trimestre 2006

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

ISBN-10: 2-550-47480-5

ISBN-13: 978-2-550-47480-7

Pour faciliter la lecture du texte, le genre masculin est utilisé sans aucune intention discriminatoire.

Les membres du Comité de travail

SABIN BOILY, président

Consultant Valorisation-Innovation
Membre de la CEST

D^R FRANÇOIS A. AUGER

Département de chirurgie
Université Laval
Directeur du Laboratoire d'organogenèse
expérimentale (LOEX)

DAVID CARTER

Conseiller scientifique en biotechnologie
Ministère du Développement durable,
de l'Environnement et des Parcs (Québec)

SYLVAIN COFSKY

Directeur développement industriel et régional
NanoQuébec

ÉRIC DAVID

Département de génie mécanique
École de technologie supérieure
Chaire de recherche en matériaux et équipements
de protection utilisés en santé et sécurité au travail
IRSST/ÉTS

ÉDITH DELEURY

Présidente de la CEST
Faculté de droit
Université Laval

ANDRÉ DORÉ*

Retraité de l'enseignement

BENOÎT GAGNON

Chaire Raoul-Dandurand en études stratégiques
et diplomatiques à l'UQÀM
Membre de la CEST

PETER GRÜTTER

Département de physique
Université McGill
Directeur scientifique de NanoPic (CRSNG)

MARK HUNYADI

Faculté de philosophie
Université Laval

MICHÈLE S. JEAN

Centre de recherche en droit public
Université de Montréal
Présidente de la Commission canadienne
pour l'UNESCO
Membre de la CEST

TEODOR VERES

Chef de groupe
Nanomatériaux fonctionnels
Conseil national de recherches Canada

OBSERVATEURS :

BENOÎT LUSSIER

Conseiller en technologies stratégiques –
nanotechnologies
Ministère du Développement économique,
de l'Innovation et de l'Exportation (Québec)

DENIS GODBOUT

Terminologue
Office québécois de la langue française

DU SECRÉTARIAT DE LA COMMISSION

Diane Duquet, coordonnatrice de la CEST
Emmanuelle Trottier, conseillère en éthique

* Précision apportée à la demande de M. André Doré, en date du 11 mars 2006: « Compte tenu du caractère historiquement nord-américain de l'activité économique du Québec et de son mode de "gouvernance rationnelle", je tiens à dire que la science et l'acceptation par les marchés devront être les deux premiers critères à respecter dans l'élaboration de toute réglementation du secteur des nanotechnologies. »

Table des matières de l'avis

Liste des sigles et acronymes.....	xvii
Résumé, recommandations et commentaires.....	xix
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 – UN NOUVEAU MONDE EN ÉMERGENCE: L'UNIVERS DES NANOTECHNOLOGIES.....	5
Un monde à découvrir	5
Nanoscience et nanotechnologie: l'échelle du nanomètre	7
Aspects marquants à considérer: une prémisse au questionnement éthique	8
La taille d'un composant nanométrique.....	8
Les propriétés nouvelles de la matière nanométrique.....	8
La manipulation de la matière.....	9
La multidisciplinarité et la convergence disciplinaire	10
Un engouement généralisé.....	10
Les grands secteurs d'intervention	12
Les nanomatériaux.....	12
La nanoélectronique.....	13
La nanobiotechnologie et la nanomédecine	14
La nanométrie	14
Des attentes et des préoccupations à considérer	15
Un aperçu des bénéfices escomptés.....	15
Dans le domaine de la santé.....	15
Dans le domaine de l'environnement	17
Dans le domaine des technologies de l'information	18
Dans le domaine de l'agriculture et de l'alimentation	19
Entre la fiction et la réalité.....	19
L'autoréplication de nanorobots et l'écophagie globale.....	20
Des promesses parfois irréalistes	21
Des questions à soulever, des valeurs à privilégier	21

CHAPITRE 2 – REGARD SUR LES MODALITÉS D'ENCADREMENT DU SECTEUR	25
Le risque et les nanotechnologies.....	25
La nature des risques à considérer.....	26
Les modalités d'évaluation et de gestion du risque : quelques constats et interrogations.....	27
L'encadrement actuel.....	28
Lois et règlements canadiens.....	29
Lois et règlements québécois.....	30
Instruments internationaux.....	31
En soutien à l'industrie.....	32
Des approches responsables pour composer avec le risque.....	33
Le principe de précaution.....	33
Quelques mises au point.....	34
Des mesures pour l'action.....	36
L'approche « cycle de vie » dans la perspective du développement durable.....	38
CHAPITRE 3 – NANOTECHNOLOGIES : PRÉOCCUPATIONS D'ORDRE ÉTHIQUE	41
Des exigences fondamentales comme prémisses.....	41
La nécessité d'établir une terminologie et une nomenclature scientifiques communes.....	41
L'importance de mettre sur pied des procédures et des standards.....	42
La poursuite de la recherche et la diffusion des résultats.....	43
Préoccupations éthiques associées aux produits issus des nanotechnologies.....	44
En matière de santé humaine.....	44
Santé et sécurité.....	44
<i>La protection des travailleurs</i>	44
<i>La protection de la population</i>	47
Les applications dans le domaine de la santé.....	48
<i>L'éthique de la recherche biomédicale</i>	49
<i>Diagnostics et applications thérapeutiques</i>	50
En matière d'environnement.....	51
En matière de sécurité.....	53
Dans le domaine militaire.....	53
<i>Quelques exemples d'applications « nanomilitaires »</i>	54
<i>Un aperçu des préoccupations éthiques</i>	55
Dans la société civile.....	56

Des préoccupations associées à la convergence des connaissances et des technologies	57
L'identité humaine dans un contexte d'optimisation des performances	57
Le rapport de l'être humain avec la nature	59
Préoccupations éthiques non exclusives aux nanotechnologies.....	60
En lien avec la gouvernance.....	60
La légitimité et la transparence du processus décisionnel.....	61
Les mesures d'encadrement et de reddition de comptes.....	63
En lien avec l'activité économique liée aux nanotechnologies	64
Les choix éthiques dans le développement de l'activité économique liée aux nanotechnologies au Québec.....	64
Le fossé nanotechnologique dans le contexte de la mondialisation des marchés.....	65
<i>L'orientation de la R-D nanotechnologique</i>	65
<i>La possession de l'expertise en nanotechnologies</i>	66
La propriété intellectuelle et la gestion des brevets	66
La collecte de renseignements personnels.....	68
En lien avec la citoyenneté et l'innovation technologique.....	70
CONCLUSION	73
Glossaire	75
Bibliographie.....	83
Sites suggérés.....	107
Annexes	
Annexe 1 : Quelques exemples d'applications des nanotechnologies.....	111
Annexe 2 : Aperçu prospectif d'applications des nanotechnologies.....	113
Annexe 3 : Questionnement relatif aux divers enjeux des nanotechnologies	117
Les activités de consultation et d'information de la Commission	119
Les membres de la Commission de l'éthique de la science et de la technologie	121

Liste des sigles et acronymes

ACV	Analyse du cycle de vie
ADN	Acide désoxyribonucléique
BAPE	Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (Québec)
CCST	Conseil consultatif des sciences et de la technologie (Canada)
CCSTPM/PMACST	Conseil consultatif des sciences et de la technologie du Premier ministre/Prime Minister's Advisory Council on Science and Technology (Canada)
CIRAIG	Centre interuniversitaire de référence sur l'analyse, l'interprétation et la gestion du cycle de vie des produits, procédés et services (Québec)
COMEST	Commission mondiale d'éthique des connaissances scientifiques et des technologies (UNESCO)
CRSNG/NSERC	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada/Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada
CSST	Commission de la santé et de la sécurité du travail (Québec)
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency (États-Unis)
DDT	Dichlorodiphényltrichloréthane
EPA	Environmental Protection Agency (États-Unis)
EPTC	Énoncé de politique des trois conseils subventionnaires fédéraux canadiens
ESAA	Environmental Services Association of Alberta (Canada)
FDA	Food and Drug Administration (États-Unis)
FQRNT	Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies
FQRSC	Fonds québécois de la recherche sur la société et la culture
FRSQ	Fonds de la recherche en santé du Québec
GE³LS	Genomics: Ethics, Environment, Economics, Law, and Society
ICON	International Council on Nanotechnology
IRM	Imagerie par résonance magnétique
IRSC	Instituts de recherche en santé du Canada
IRSST	Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (Québec)
ISO	Organisation internationale de normalisation
LED	Diode électroluminescente
NANOPIC	Plate-forme d'innovation du CRSNG en nanoscience et en nanotechnologie
NBIC	Nanotechnology, biology, information technology and cognitive science (en référence à la convergence de la nanotechnologie, de la biologie, des technologies de l'information et des sciences cognitives)

NE³LS	Nanotechnology: Ethics, Environment, Economics, Law and Society
NIH	National Institutes of Health (États-Unis)
NIST	National Institute of Standard and Technology (États-Unis)
NNI	National Nanotechnology Initiative (États-Unis)
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale (Nations Unies)
OCDE/OECD	Organisation de coopération et de développement économiques (Organisation for Economic Co-operation and Development)
OGM	Organisme génétiquement modifié
ONU	Organisation des Nations Unies
OQLF	Office québécois de la langue française
PEBBLE	Probes Encapsulated by Biologically Localized Embedding
PME	Petites et moyennes entreprises
PNB	Produit national brut
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
R-D	Recherche et développement
RFID	Identification par radio-fréquence (Radio Frequency Identification)
SCENIHR	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (États-Unis)
SIMDUT	Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (Canada)
SOLAS	Safety of Life at Sea
SPM	Microscopie en champ proche
STM	Microscopie à effet tunnel
TDAH/ADHD	Trouble déficitaire d'attention avec hyperactivité (Attention Deficit Hyperactivity Disorder)
TIC	Technologies de l'information et de la communication
UICN	Union mondiale pour la nature
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
VIH	Virus de l'immunodéficience humaine
WWF	Organisation mondiale de protection de l'environnement

Résumé, recommandations et commentaires

Née de la convergence des recherches fondamentales en physique, en chimie et en biologie, la nanotechnologie est souvent présentée comme l'une des technologies les plus prometteuses pour l'avenir de l'humanité. Son caractère novateur, son passage amorcé du laboratoire à la fabrication industrielle et à la commercialisation, l'importance des investissements publics et privés dans son développement et dans sa promotion ainsi que les retombées attendues sont autant d'éléments qui ont incité la Commission à aborder le sujet dans une perspective éthique.

Le présent avis de la Commission comprend trois chapitres qui permettent de faire le point sur les aspects scientifiques, juridiques et éthiques des nanotechnologies. Outre la protection de la santé et de l'environnement, le respect de nombreuses valeurs a guidé la Commission dans son évaluation éthique des nanotechnologies; ces valeurs sont, entre autres, la dignité, la liberté, l'intégrité et le respect de la personne, la qualité de vie, le respect de la vie privée, la justice et l'équité, la transparence et la démocratie.

La Commission formule **huit recommandations** à l'intention des décideurs politiques et autres acteurs concernés. À certaines reprises, lorsqu'il lui est apparu impossible de formuler une recommandation spécifique sur un sujet donné qu'elle juge cependant important, la Commission propose un **commentaire** lui permettant de mettre l'accent sur un aspect ou l'autre de la question abordée afin que la société québécoise puisse se donner les moyens d'agir et de prendre des décisions éclairées en matière de nanotechnologies.

Un nouveau monde en émergence: l'univers des nanotechnologies

Le monde de la nanoscience et de la nanotechnologie se situe à l'échelle du **nanomètre**, c'est-à-dire un milliardième de mètre ou 10^{-9} . La **nanoscience** est l'étude scientifique, à l'échelle des atomes et des molécules, de structures moléculaires dont au moins une de leurs dimensions mesure entre 1 et 100 nanomètres, dans le

but de comprendre leurs propriétés physicochimiques particulières et de définir les moyens à utiliser pour les fabriquer, les manipuler et les contrôler. Découlant de la nanoscience, la **nanotechnologie** est la conception et la fabrication, à l'échelle des atomes et des molécules, de structures qui comportent au moins une dimension mesurant entre 1 et 100 nanomètres, qui possèdent des propriétés physicochimiques particulières exploitables, et qui peuvent faire l'objet de manipulations et d'opérations de contrôle.

Aspects marquants à considérer. La taille des particules nanométriques, les propriétés nouvelles qu'acquiert la matière à cette échelle, les modes de manipulation de la matière (selon les approches dites descendante et ascendante), la multidisciplinarité et la convergence disciplinaire des nanotechnologies ainsi que l'engouement généralisé qu'elles suscitent font partie des aspects marquants à considérer dans une réflexion sur ces nouvelles technologies; ils servent aussi de fondement au questionnement éthique qui sous-tend l'avis de la Commission.

Secteurs de recherche et applications. Comme l'électricité et l'électronique, les nanosciences et les nanotechnologies toucheront toutes les sphères de la vie courante. Les applications qui en découlent déjà ou qui pourraient en résulter sont aussi diversifiées qu'il est possible de l'imaginer, parfois déroutantes, souvent fascinantes, dans certains cas préoccupantes. Les quatre grands secteurs de recherche et d'innovation qui jouent actuellement un rôle majeur dans le domaine des nanotechnologies sont les nanomatériaux, la nanoélectronique, la nanobiotechnologie et la nanométrie. Si leurs promesses se réalisent, les nanotechnologies pourraient engendrer des bénéfices dans une multitude de secteurs d'activité allant de la médecine à l'environnement, des technologies de l'information à l'agriculture et à l'alimentation. Toutefois, des questions doivent être posées quant aux répercussions possibles ou hypothétiques de certaines innovations issues des nanotechnologies ou de leur convergence avec d'autres disciplines.

Regard sur les modalités d'encadrement du secteur

En matière de risque, deux facteurs sont à considérer : la probabilité qu'un événement se produise et la nature ou l'importance des dommages qui pourraient en résulter. S'agissant des nanotechnologies, ces deux facteurs ne sont pas toujours présents et soulèvent la question des façons de composer avec l'incertitude scientifique liée à l'état des connaissances dans le domaine, mais aussi avec l'ignorance quant à ce qui pourrait se produire dans la foulée de l'implantation d'une nouvelle technologie.

Le risque et les nanotechnologies. Comme toute autre particule naturelle ou industrielle qui présente des risques de toxicité pour les organismes vivants, les nanoparticules de synthèse (qui sont créées volontairement) sont porteuses de risques associés à leur manipulation ou à des rejets (volontaires ou accidentels) dans l'air, le sol et l'eau qui doivent être pris en considération afin de protéger les travailleurs du secteur, la population et la biodiversité dans son ensemble. De tels risques relatifs à des produits qui ne sont pas issus des nanotechnologies sont actuellement couverts par un certain nombre de lois et de règlements en vigueur qui devront, éventuellement, être adaptés pour tenir compte de l'évolution des nanotechnologies.

Ainsi qu'en témoigne la documentation consultée, il peut aussi exister des risques qui concernent plus spécifiquement les produits issus des nanotechnologies du fait de leurs caractéristiques particulières et pour lesquels la recherche n'est pas toujours concluante :

- la tendance à l'agglutination des particules nanométriques de synthèse et ses effets potentiels sur l'environnement et dans les organismes vivants ;
- l'importance de la surface spécifique de la matière nanométrique par rapport à sa masse, qui contribue à modifier ou à amplifier les propriétés de la matière originale ;
- la réactivité que développent certaines particules nanométriques, notamment les nanopoudres métalliques, laquelle peut engendrer des risques d'explosion, d'inflammabilité ou de toxicité ;
- la capacité qu'a la matière nanométrique de traverser les barrières des systèmes de protection de l'organisme humain et animal (barrières cutanée, pulmonaire, intestinale, placentaire, hématoencéphalique).

L'encadrement actuel. Au Canada comme au Québec, il existe un certain nombre de lois et de règlements qui encadrent le cycle de vie d'un produit, de sa fabrication jusqu'à son élimination ; ces textes législatifs s'appliquent aussi aux nanomatériaux, bien que ceux-ci ne soient pas encore expressément mentionnés. Certains instruments internationaux comportent également des exigences relatives au transport d'un pays à un autre de matières jugées dangereuses et pouvant présenter un risque pour la santé ou l'environnement.

COMMENTAIRE DE LA COMMISSION

Dans un contexte où le développement des nanotechnologies et la mise en marché de produits nanométriques ou à composants nanométriques sont déjà bien amorcés et ne pourront que s'amplifier au cours des années qui viennent, la Commission estime que la vigilance s'impose et qu'il faudra suivre attentivement l'évolution de ces technologies nouvelles afin d'adapter la réglementation actuelle aux réalités du secteur.

Par ailleurs, afin de répondre aux besoins de l'entreprise, l'autorégulation pourrait combler une partie du vide laissé par une réglementation incomplète dans ce secteur d'activité en émergence. À cet égard, il convient de mentionner que l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), en collaboration avec divers partenaires, prépare actuellement un guide des bonnes pratiques pour les besoins de l'industrie québécoise des nanotechnologies (y compris les laboratoires).

COMMENTAIRE DE LA COMMISSION

La Commission encourage l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail à poursuivre, en collaboration avec ses partenaires, la préparation de son guide de bonnes pratiques afin de le publier le plus tôt possible. Elle invite également les divers ministères que concerne le développement des nanotechnologies à inciter la communauté des chercheurs et des industriels de ce secteur d'activité à respecter les pratiques préconisées dans ce guide, mais aussi à contribuer à la promotion et à l'enrichissement de celui-ci. Dans la perspective d'éviter toute répercussion non désirable des nanotechnologies sur la santé des travailleurs et sur l'environnement, la Commission estime qu'un tel guide s'impose dans l'état actuel du développement des nanotechnologies.

Des approches responsables pour composer avec le risque. Dans l'état actuel des connaissances et du développement des nanotechnologies, la Commission s'est interrogée sur deux avenues à considérer au regard de la nécessité ou non de se doter d'une réglementation dans ce secteur d'activité, soit le recours au principe

de précaution et l'adoption de l'approche « cycle de vie ». Depuis la publication de son avis sur les OGM en 2003, dans lequel elle préconisait l'adoption d'une approche de la précaution qu'elle estimait alors plus souple, la Commission a poursuivi sa réflexion sur le principe de précaution. Insistant sur le fait que le **principe de précaution** est un principe d'action et non pas d'abstention, qui peut guider les décideurs dans un contexte d'incertitude, elle lui reconnaît le mérite de susciter de nombreuses questions sur la gestion des risques hypothétiques dans une société pluraliste et démocratique, sur la façon de tenir compte de l'écart qui existe entre l'acceptabilité du risque individuel et celle du risque collectif, entre des exigences de sécurité sanitaire et environnementale et le souci légitime du développement technologique. De l'avis de la Commission, il y a là matière à débat pour et avec la société.

L'**approche du cycle de vie**, notamment dans une perspective de développement durable, cherche à protéger l'environnement à partir d'une prise en compte des impacts d'une innovation technologique, dès l'obtention des ressources nécessaires à sa fabrication et jusqu'à son élimination finale une fois terminée sa vie utile. La notion de *développement durable* est entendue dans le sens qui lui est donné à l'article 2 de la *Loi sur le développement durable* (2006) : « développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. [II] s'appuie sur une vision à long terme qui prend en compte le caractère indissociable des dimensions environnementale, sociale et économique des activités de développement. » Bien qu'il en soit question à deux reprises dans la loi, la définition retenue de développement durable ne fait cependant pas référence à la notion de cycle de vie que certains chercheurs estiment « essentielle à l'atteinte d'un développement durable ».

Recommandation n° 1

La Commission recommande :

que le gouvernement du Québec, guidé par le principe de précaution et dans une perspective de développement durable, se préoccupe de toutes les phases du cycle de vie d'un produit issu des nanotechnologies ou comportant des éléments nanométriques et qu'à cet effet il intègre la notion de « cycle de vie » dans toutes ses politiques où une telle approche est appropriée, de façon à éviter toute conséquence dommageable d'une innovation technologique sur la santé et sur l'environnement.

Nanotechnologies : préoccupations d'ordre éthique

Des exigences fondamentales comme prémisses

Le caractère émergent des nanotechnologies et l'apport de nombreuses disciplines à leur avènement font en sorte que des actions s'imposent comme prémisses à leur développement systématique et responsable.

COMMENTAIRE DE LA COMMISSION

Le constat premier que tout observateur peut faire à l'égard des nanotechnologies, c'est le manque flagrant d'information pour bien connaître ce qu'elles sont. Or, comment prendre des décisions éclairées, en tant que législateur, chercheur, entrepreneur, travailleur ou citoyen, s'il n'existe pas une compréhension commune de ce que sont les nanotechnologies ? Établir une terminologie et une nomenclature scientifiques communes, mettre sur pied des procédures et des standards et poursuivre la recherche et la diffusion des résultats apparaissent à la Commission comme les trois prémisses indispensables à une gestion responsable du développement des nanotechnologies.

Préoccupations éthiques associées aux produits issus des nanotechnologies

En matière de santé humaine

La protection des travailleurs. Deux observations ont attiré l'attention de la Commission. En premier lieu, il faut s'inquiéter du peu de recherches entreprises jusqu'à maintenant en ce qui concerne les conséquences possibles des nanomatériaux sur la santé et la sécurité humaines. Un des obstacles notés par l'IRSST et qui expliquent en partie le manque de connaissances en hygiène industrielle est que « les outils actuels d'évaluation de l'exposition des travailleurs normalement utilisés [...] sont mal adaptés à l'application aux nanoparticules en milieu de travail », alors que « les quelques données disponibles suggèrent que les expositions peuvent être substantielles lors de la manipulation* ».

En second lieu, les spécialistes ne s'entendent pas sur l'à-propos de la réglementation existante. Il sera difficile de trancher sur cette question tant que des données plus précises sur les effets potentiels des nanotechnologies ne seront pas disponibles. **En attendant l'avancement de la recherche et une réglementation plus complète et mieux adaptée aux spécificités des nanotechnologies, la Commission estime que le principe de précaution doit guider les actions à entreprendre afin de protéger la santé et la sécurité des travailleurs.**

La publication de guides de bonnes pratiques ou d'ouvrages comme ceux que produit l'IRSST relativement à l'état des connaissances sur les nanoparticules et aux effets possibles de ces particules sur les travailleurs s'inscrit au nombre des actions qui peuvent être entreprises pour assurer une gestion responsable des nanotechnologies. À cet effet, **la Commission souligne l'importance que les données colligées par l'IRSST demeurent le plus à jour possible et que ces informations soient transmises aux entreprises et aux centres de recherche actifs dans le secteur des nanotechnologies, afin que ces derniers puissent prendre des mesures adéquates de protection des travailleurs.**

* INSTITUT DE RECHERCHE ROBERT-SAUVÉ EN SANTÉ ET EN SÉCURITÉ DU TRAVAIL – IRSST, *Les nanoparticules. Connaissances actuelles sur les risques et les mesures de prévention en santé et en sécurité du travail*, Claude OSTIGUY et collaborateurs, Rapport R-455, Études et recherches, Gouvernement du Québec, mars 2006, p. iv [en ligne] http://www.irsst.qc.ca/fr/_publicationirsst_100189.html.

La protection de la population. L'assurance de l'innocuité des produits issus des nanotechnologies est une préoccupation majeure dans la réflexion de la Commission. Or, il est impossible de savoir à l'heure actuelle si les produits déjà commercialisés peuvent être nocifs à l'usage, parce qu'il existe peu de résultats de recherche concernant leurs effets sur les animaux, l'environnement ou les êtres humains. De plus, des experts s'inquiètent du peu de moyens dont disposent les autorités sanitaires pour contrôler les produits mis en marché. Enfin, même si ces autorités avaient les moyens et le personnel nécessaires, il n'en faudrait pas moins que des normes d'acceptation soient édictées, ce qui n'est pas encore le cas.

Recommandation n° 2

La Commission recommande :

que le ministre du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation, en collaboration avec le ministre de la Santé et des Services sociaux, intervienne auprès du gouvernement fédéral afin que ses agences de contrôle en matière de santé et d'environnement mettent en place les mécanismes nécessaires à une évaluation de la toxicité des processus et des produits issus des nanotechnologies avant d'en autoriser la commercialisation.

Le développement technologique comme facteur d'enrichissement collectif et d'amélioration de la qualité de vie des citoyens est certes une valeur importante dans nos sociétés, et le développement des nanotechnologies semble pouvoir y contribuer; mais en aucun cas il ne peut se faire au détriment de la santé et de la sécurité des travailleurs ou des citoyens, qui constituent des valeurs prioritaires. **La Commission est d'avis que des mesures de prévention adéquates et une bonne connaissance du cycle de vie des produits issus des nanotechnologies contribueront à protéger la santé et la sécurité humaines et participeront au développement responsable de ce secteur d'activité.**

Les applications dans le domaine de la santé: l'éthique de la recherche biomédicale. Considérant l'avenir prometteur des nanobiotechnologies, il importe d'appliquer rigoureusement les principes de l'éthique de la recherche afin de protéger les sujets de recherche qui participent volontairement à l'avancement des connaissances. Les comités d'éthique de la recherche étant à l'avant-plan dans la protection des sujets humains,

les membres de ces comités doivent être sensibilisés aux questions qui se poseront dans la poursuite de recherches sur les nanobiotechnologies et outillés pour y réagir adéquatement.

Recommandation n° 3

La Commission recommande :

que le ministre de la Santé et des Services sociaux s'assure que les comités d'éthique de la recherche seront adéquatement outillés et soutenus dans leur évaluation de protocoles de recherche portant sur l'utilisation dans le domaine médical des matériaux et procédés issus des nanotechnologies.

Diagnostiques et applications thérapeutiques. La question de l'interférence des nanoparticules avec le fonctionnement du corps humain (ou avec l'environnement) retient particulièrement l'attention de la Commission. Par exemple, en raison de la capacité qu'ont les nanoparticules de traverser la barrière hématoencéphalique, leur utilisation présente un intérêt certain dans le traitement des maladies d'origine neurologique, mais elle constitue également une source de préoccupation. La barrière hématoencéphalique est l'ultime rempart du cerveau contre les agressions extérieures de certains microorganismes. Or, le fait d'avoir trouvé de nouvelles façons de déjouer les défenses naturelles du cerveau, grâce à des technologies qui sont, de surcroît, encore peu maîtrisées et invisibles à l'œil nu, pourrait bien avoir des conséquences déplorables si la R-D nanotechnologique n'est pas suffisamment balisée.

L'état actuel des connaissances ne permet guère à la Commission d'extrapoler sur l'impact économique potentiel de l'introduction de nouvelles méthodes de diagnostic et de traitement faisant appel à des nanotechnologies. Vraisemblablement, certaines de ces nouvelles technologies permettraient des économies pour le système de santé, alors que d'autres représenteront des coûts prohibitifs. La Commission s'interroge également sur une offre de diagnostic qui ne serait pas assortie d'une offre thérapeutique. Cette possibilité existe déjà et n'est pas sans rappeler les réflexions entourant le diagnostic génétique qui ont été menées par la Commission dans son avis sur les banques d'information génétique. L'ensemble de ce questionnement renvoie au problème beaucoup plus large de l'allocation des ressources et de la gouvernance, où des choix de société importants devront être débattus sur la place publique.

COMMENTAIRE DE LA COMMISSION

La Commission insiste sur l'importance de se laisser guider par la précaution dans le processus de création et de mise au point de médicaments et de thérapies à composants nanotechnologiques. Une telle approche incite à poursuivre la recherche et à documenter les effets potentiellement positifs et négatifs des applications nanotechnologiques dans le domaine des soins de santé afin de mieux évaluer les retombées pour les malades et pour le fonctionnement du système de santé en général.

En matière d'environnement

Les nanotechnologies pourraient avoir de nombreux impacts positifs sur l'environnement, se présentant ainsi en appui au développement durable. Les bienfaits potentiels des nanotechnologies doivent être encouragés ; toutefois, leur innocuité reste à démontrer et leurs effets potentiellement indésirables ne peuvent être balayés du revers de la main.

Selon la documentation consultée, la plus grande source d'exposition environnementale appréhendée concerne, à court terme, l'utilisation de nanoparticules dans l'assainissement des eaux ou des sols contaminés, en raison de l'impact que pourrait avoir la grande réactivité des nanoparticules sur les plantes, les animaux, les microorganismes et les écosystèmes. Les données cumulées jusqu'à maintenant ne permettent pas de tracer un portrait fiable de la situation. Des études préliminaires ont cependant démontré que certains nanomatériaux peuvent endommager les organes et les tissus d'organismes vivants. Dans le cadre du présent avis, **la Commission ne peut qu'insister sur l'importance de multiplier les recherches sur les conséquences potentielles des nanotechnologies afin de déterminer quelles substances pourraient être dommageables. Cette proposition commande un engagement de la part des chercheurs, des industriels et des organismes gouvernementaux.**

Si certaines réponses peuvent être fournies à partir d'études en laboratoire, d'autres devront nécessairement provenir d'analyses *in situ* – ce sera le cas par exemple pour des effets des nanotechnologies qui sont inattendus (non prévus) ou qui ne se produiront qu'à long terme. Par exemple, il est possible que certains produits aient des effets dommageables sur l'environnement par leur accumulation dans divers systèmes régulateurs de l'environnement.

Recommandation n° 4

La Commission recommande :

- que le ministre du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation, en concertation avec le ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs et les divers acteurs concernés, mette en place un système de veille relatif aux effets potentiels des nanotechnologies sur l'environnement, lorsque ces effets ne peuvent être calculés et pris en compte avant la commercialisation de produits issus des nanotechnologies;
- qu'une procédure soit élaborée afin d'assurer le retrait rapide des produits mis en cause advenant le constat d'effets délétères sur l'environnement.

En matière de sécurité

Depuis l'attaque terroriste du 11 septembre 2001 aux États-Unis, les questions de sécurité et de défense militaire ont pris une dimension accrue qui se répercute partout dans le monde. Assurer la protection du territoire et des populations devient un enjeu prioritaire des gouvernements, à la fois sur le plan militaire et sur celui de la sécurité publique, et amplifie la vague d'intégration technologique amorcée à la fin des années 1980. Dans un cas comme dans l'autre, les nanotechnologies présentent un potentiel d'applications d'une grande diversité en matière de sécurité.

Dans le domaine militaire. Les applications dans ce domaine soulèvent deux préoccupations majeures sur le plan de l'éthique : celle des finalités et celle du secret quant à ce qui se fait dans les laboratoires et aux résultats obtenus. Apparaît donc au premier plan toute la question de la transparence, qui pose un problème d'ordre éthique et qui suscite des interrogations sur le degré de confiance que la population peut ou doit accorder aux responsables décisionnels dans le domaine militaire. Un constat fondamental est aussi à faire : dans tout l'arsenal de recherches et de projets en développement, la mise au point de moyens d'attaque ou de défense contre l'ennemi constitue la raison d'être des diverses agences mises en place et des sommes phénoménales y sont consacrées ; à première vue, toutefois, très peu d'efforts semblent porter sur les moyens d'éviter les conflits. **Un questionnement doit se faire sur l'encadrement éthique de la recherche militaire et sur les enjeux éthiques qui sont associés au développement de nouvelles applications militaires issues des nanotechnologies.**

Dans la société civile. Dans le cadre d'un document de réflexion sur l'utilisation des données biométriques à des fins de sécurité, la Commission aborde la problématique de la surveillance et s'interroge sur une intrusion possible de l'État et des organisations dans la vie privée des citoyens et des travailleurs. Différentes technologies sont certes mises à contribution à cet effet, mais les nanotechnologies augmentent et facilitent les possibilités actuelles et ouvrent la porte à la collecte et à l'utilisation d'informations sur les citoyens et les travailleurs sans aucune mesure avec les possibilités qui existaient jusqu'à présent. **La Commission est inquiète de constater que, au nom de la sécurité, il apparaît aujourd'hui possible d'avoir des exigences moindres à l'égard de la protection des renseignements personnels et de leur confidentialité, du droit à la vie privée et des libertés civiles.**

La convergence des connaissances et des disciplines

La convergence des nanotechnologies avec d'autres disciplines comme la biologie, les technologies de l'information et de la communication et les sciences cognitives s'accompagne de nombreux défis éthiques et sociaux, notamment en ce qui concerne l'identité humaine et le rapport de l'être humain avec la nature.

L'identité humaine dans un contexte d'optimisation des performances. Les nanotechnologies pourraient contribuer à optimiser certaines caractéristiques physiologiques de l'être humain ; les développements pressentis grâce à la convergence des connaissances et des technologies n'ont pratiquement aucune limite et peuvent inclure les capacités cognitives. Certains développements soulèveront bon nombre d'interrogations fondamentales en ce qui concerne les représentations personnelles et sociales de l'identité humaine : ce que nous comprenons et considérons comme être *humain*, ce qui est jugé normal (ou *acceptable*) et ce qui ne l'est pas. Frontière subjective entre thérapie et optimisation des capacités humaines, double discours en ce qui concerne l'insertion de la population handicapée dans la vie « active », culte voué à la performance, équité dans les choix de services offerts par le système de santé public, vision de l'autonomie et de la responsabilité individuelle face à la collectivité, voilà où réside notamment, selon la Commission, le questionnement éthique posé par l'utilisation des nanotechnologies à des fins d'optimisation des performances humaines. C'est

une réflexion que la Commission poursuivra dans un prochain avis sur les neurosciences.

Le rapport de l'être humain avec la nature. C'est en accord avec l'esprit de la *Loi sur le développement durable* que la Commission considère que l'être humain vit en interdépendance avec l'environnement. La société et ses décideurs doivent tenir compte de cette interdépendance au moment de prendre des décisions qui pourraient avoir un impact sur la qualité de l'environnement, que ce soit dans l'immédiat ou pour les générations futures. Les nanotechnologies pourraient s'avérer un atout non négligeable à cet effet; en contrepartie, il faut reconnaître que certaines applications pourraient également constituer une source de détérioration. **Il y aura donc un équilibre à rechercher dans l'utilisation des nanotechnologies afin d'en tirer le meilleur parti possible au bénéfice du plus grand nombre et dans le respect de l'environnement. Ce sont là des décisions qui concernent l'ensemble de la société et qui doivent être soumises au débat public.**

Préoccupations éthiques non exclusives aux nanotechnologies

Le développement des nanotechnologies suscite certes un questionnement éthique quant aux effets qu'elles pourraient avoir sur la santé et sur l'environnement et par l'utilisation qui pourrait en être faite dans d'autres domaines. Toutefois, comme a pu le constater la Commission, ces technologies, à l'instar d'autres technologies émergentes, soulèvent aussi des préoccupations d'ordre éthique qui ne leur sont pas spécifiques, et qui ne sont pas entièrement nouvelles, mais qui ne peuvent être occultées, car elles risquent d'être amplifiées par l'avènement des nanotechnologies.

En lien avec la gouvernance

La légitimité et la transparence du processus décisionnel. Dans un cadre démocratique, la légitimité passe invariablement par la transparence du processus décisionnel. C'est un sujet sur lequel la Commission a beaucoup insisté dans son avis sur les organismes génétiquement modifiés. La transparence se manifeste également dans les façons d'informer la population; c'est même une condition d'exercice du libre choix accordé à chaque citoyen dans une société démocratique et pluraliste.

Recommandation n° 5

La Commission recommande:

que le ministre du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation, avec ses collègues des ministères et des organismes concernés, amorce un processus d'information et d'échanges auprès de la population afin de bien circonscrire, et en toute transparence, les enjeux scientifiques, économiques, sociaux et éthiques qui sont associés au développement des nanotechnologies.

Les mesures d'encadrement et de reddition de comptes. La Commission reconnaît que l'encadrement normatif des nanotechnologies nécessite une meilleure connaissance des conséquences potentiellement néfastes que pourraient entraîner l'introduction et la dissémination de nanoparticules dans l'environnement ou leur pénétration dans les organismes vivants. Cependant, une telle contrainte ne doit en rien limiter les actions de gouvernance relatives aux activités de veille et de réflexion qui doivent accompagner l'émergence d'une nouvelle technologie et celles qui assurent l'adaptation des encadrements existants lorsque les circonstances le dictent. **Il importe aussi que le réseau des divers acteurs du domaine des nanotechnologies se concertent pour adopter des comportements qui s'inscrivent dans une perspective de développement durable. Pour la Commission, la concertation des parties prenantes constitue une prémisses à l'élaboration d'un modèle de gouvernance flexible, adapté à la réalité des nanotechnologies et apte à tenir compte des préoccupations éthiques que ces technologies soulèvent.**

Recommandation n° 6

La Commission recommande:

que le ministre du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation demande aux organismes subventionnaires, en collaboration avec les divers acteurs concernés, de créer un programme de recherche multidisciplinaire sur les impacts des nouvelles technologies et sur la gestion du risque associé aux nanotechnologies, qui tienne compte de leurs dimensions éthique et sociale.

En lien avec l'activité économique

Les choix éthiques dans le développement de l'activité économique québécoise liée aux nanotechnologies. Depuis 2004, le Conseil de la science et de la technologie du Québec coordonne le projet Perspective Science-Technologie-Société (STS) dont le premier objectif est de sensibiliser tous les secteurs de la société québécoise à l'importance et à l'utilité de la science et de la technologie pour comprendre et résoudre les problèmes socioéconomiques. Le deuxième objectif de ce projet consiste à convier la communauté scientifique québécoise à participer aux finalités sociales et économiques de la science et de la technologie. **La Commission est d'avis que ce type d'initiative devrait être appliqué au moment où sera élaborée une stratégie québécoise de développement des nanotechnologies, de façon qu'il soit possible de répondre aux besoins tant économiques que sociaux propres au Québec et de considérer, de manière spécifique, les enjeux éthiques liés à ces technologies.**

Dans son bilan de 2005 sur les nanotechnologies, le President's Council of Advisors on Science and Technology du gouvernement américain rappelle que les nouvelles technologies peuvent en déplacer d'autres qui sont obsolètes et susciter un mouvement parallèle dans les possibilités d'emploi. **Comme ces nouveaux emplois demandent parfois des habiletés différentes, l'organisme souligne que de tels changements peuvent poser des défis majeurs en ce qui concerne la formation de la main-d'œuvre et le système d'éducation. Pour la Commission, il s'agit là d'un enjeu éthique important puisque, souvent, les travailleurs les plus vulnérables de la société sont les victimes des transformations du marché du travail qu'entraîne l'émergence de nouvelles technologies.**

Recommandation n° 7

La Commission recommande :

que le ministre du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation, advenant l'élaboration d'une stratégie québécoise de développement des nanotechnologies, prenne en compte les questions éthiques et sociales que ces technologies soulèvent, particulièrement en matière d'emploi et de formation de la main-d'œuvre.

Le fossé nanotechnologique dans le contexte de la mondialisation des marchés. La possibilité de concevoir et de développer l'innovation nanotechnologique de façon à en faire bénéficier les pays en voie de développement ne devrait pas d'emblée être mise à l'écart. Les gouvernements, les entreprises, les fondations et les organisations non gouvernementales sont ou peuvent être sollicités à divers degrés dans la gestion du développement nanotechnologique. Pour ces divers acteurs, l'occasion se présente aujourd'hui de concerter leurs efforts afin de maximiser la réflexion et d'agir de façon solidaire envers les plus démunis.

COMMENTAIRE DE LA COMMISSION

Dans la même veine, la Commission suggère que s'amplifient ou se tissent des liens de collaboration entre les universités, les fonds subventionnaires et les pays en développement. Des partenariats de recherche en nanotechnologies, des échanges d'étudiants et de professeurs entre universités, ainsi que la mise en place de programmes de subventions dont l'objectif spécifique est de répondre aux besoins signalés par les pays en développement à l'égard des nanotechnologies devraient être considérés par les organismes concernés.

En général, qui contrôle la R-D contrôle également les moyens de production et l'offre de produits et services. Si les besoins des pays en développement sont pris en considération dans les orientations de la recherche, il faut également miser sur la croissance d'industries locales qui créeront une richesse durable. Les partenariats entre ceux qui possèdent le savoir et les capitaux et ceux qui possèdent un marché à exploiter doivent être encouragés, à la condition qu'ils soient conçus au bénéfice de chacun et que le partage des responsabilités soit équitable ; il s'agit là d'une question de respect et de solidarité.

COMMENTAIRE DE LA COMMISSION

Considérant que la solidarité humaine se traduit notamment par des gestes de collaboration et de partage de la richesse, la Commission encourage le soutien de la formation de chercheurs et la mise en place d'infrastructures de R-D dans les pays en émergence et dans ceux en développement, en vue de favoriser l'acquisition d'une expertise industrielle dans ces pays et d'éviter que se creuse davantage le fossé technologique.

La propriété intellectuelle et la gestion des brevets. La gestion des brevets et de la propriété intellectuelle peut être vue comme une source dynamique d'innovation, mais également comme un frein à l'accès aux connaissances et aux outils nécessaires à la R-D. Ainsi que le suggèrent certains auteurs, une façon de s'attaquer au problème serait de s'inspirer de la protection de la propriété intellectuelle utilisée en informatique pour les logiciels libres (*open source*) en ce qui a trait aux recherches financées par le public. Une autre possibilité serait l'établissement de communautés de brevets (*patent pools*).

La Commission souligne également l'initiative des National Institutes of Health américains (NIH) dans le domaine des biotechnologies, notamment en ce qui a trait à l'annonce d'un partenariat public-privé avec diverses entreprises pharmaceutiques afin d'accélérer la recherche en génétique sur des maladies multifactorielles. L'intérêt réside dans l'assurance donnée par les NIH que les résultats des recherches seront accessibles à tous.

COMMENTAIRE DE LA COMMISSION

L'initiative des NIH soulève cependant un certain nombre de questions plus larges. Les initiatives fondées sur des partenariats publics-privés en matière de recherche et de mise en marché sont-elles équitables pour le Québec? Quels sont les effets positifs et négatifs de ces partenariats? Les bienfaits potentiels contrebalancent-ils les effets négatifs? Ces derniers peuvent-ils être amoindris ou éliminés? Serait-il possible de mettre en place des mesures incitatives en vue de favoriser l'activité philanthropique? Devant toutes ces questions, la Commission estime impératif qu'une réflexion poussée sur le rôle de la protection de la propriété intellectuelle dans un contexte d'innovation soit entreprise et que soient mises en évidence les questions d'éthique qui pourraient y être associées.

La collecte de renseignements personnels. La convergence des nanotechnologies et des technologies de l'information pourrait permettre de tracer des profils types très spécialisés à des fins de marketing, mais également en vue d'exercer un contrôle policier, social ou politique sur la population ou certaines communautés. **La Commission rappelle avec insistance que les collectes de renseignements ne peuvent être faites à l'insu des consommateurs et que des lois existent déjà en matière de protection des renseignements personnels obligeant les organismes publics et privés à donner accès à son dossier d'information à toute personne qui en fait la**

demande. Le problème réside dans le fait que peu de personnes sont au courant de ces obligations et que, de surcroît, les sanctions sont rarement appliquées pour les entreprises et les organismes, publics ou privés, qui ne respectent pas les règles établies.

Enfin, l'accès à l'information génétique constitue une autre facette de la protection des renseignements personnels à ne pas négliger. Avec les nanotechnologies, les biopuces à ADN sur silicium ouvrent la voie à l'analyse du contenu génétique des cellules *in situ* – bientôt il sera possible pour un médecin de « lire » le code génétique d'un patient directement dans son bureau de consultation et d'obtenir ainsi quantité de renseignements sur l'état de santé de cette personne et sur sa prédisposition génétique à développer certaines maladies. Comme elle le soulignait dans son avis sur les banques d'information génétique, la Commission rappelle que l'utilisation de l'information génétique à d'autres fins que médicales, notamment par les assureurs, les employeurs et les institutions financières, est une pratique susceptible de favoriser la discrimination dans la prise de décision concernant les personnes visées (clients, employés et emprunteurs, par exemple). **La Commission estime toujours que toute forme d'utilisation de l'information génétique par des tiers autres que les professionnels de la santé et autrement qu'à des fins de traitement devrait être soumise à un débat de société sur ces pratiques et leurs finalités.**

En lien avec la citoyenneté et l'innovation technologique

La consommation est de plus en plus perçue comme un enjeu de pouvoir où les citoyens revendiquent le droit de faire des choix qui reflètent leurs valeurs. Il faut voir dans cet exercice de la citoyenneté un signe de santé de la démocratie, à la condition, cependant, que les citoyens soient conscients de leur potentiel d'influence, qu'ils reconnaissent la responsabilité qui accompagne tout acte décisionnel et, enfin, qu'ils aient accès à une information claire et objective.

L'autonomisation des citoyens (ou *empowerment* en anglais) se traduit notamment par la volonté de faire des choix qui respectent les valeurs individuelles et sociales de chacun. Si l'information claire et accessible est un préalable, elle représente un défi de taille, notamment dans le cas des nanotechnologies, en raison de

la complexité de ces technologies et de la diversité des possibilités d'application. **La Commission rappelle l'importance de transmettre une information juste à la population et de favoriser sa participation dans la prise de décisions au sujet des nanotechnologies.**

Recommandation n° 8

La Commission recommande :

que le gouvernement du Québec s'inspire des travaux réalisés pour la mise en place d'un portail Internet sur les organismes génétiquement modifiés afin de créer un portail d'information sur les nanotechnologies à l'intention de la population.

Même si l'information est disponible et facilement accessible, il faut s'assurer que les citoyens sont sensibilisés à la question des nouvelles technologies et qu'ils en comprennent les tenants et aboutissants; c'est une responsabilité qui leur incombe mais dont ils ne mesurent pas toujours l'importance. Il faut de plus constater qu'il existe actuellement une diminution de l'intérêt des jeunes pour une formation en science et technologie, alors que la consommation de produits technologiques ne cesse d'augmenter. Dans un tel contexte, **la Commission estime qu'il devient urgent de se pencher sur des mécanismes de rapprochement avec la population qui aideraient à pallier un manque d'information relativement neutre et objective sur l'innovation technologique.**

C'est avec beaucoup de curiosité et d'intérêt que la Commission a amorcé sa réflexion sur les enjeux éthiques soulevés par le développement des nanotechnologies. D'une part, parce que le sujet est encore peu connu; d'autre part, parce que le potentiel de développement et d'utilisation de la matière à l'échelle nanométrique semble à l'heure actuelle sans limite. Il est d'ailleurs facile de s'émerveiller, voire de se laisser emporter par l'euphorie et l'enthousiasme qui animent une bonne partie des acteurs concernés.

Au fil de sa réflexion, la Commission a constaté l'ampleur et la complexité de la tâche qu'elle s'était elle-même assignée, c'est-à-dire de documenter le développement de la nanoscience et des nanotechnologies afin de cerner les enjeux éthiques qui accompagnent leur émergence. En effet, les nanotechnologies touchent tous les domaines, avec une diversité d'applications et des potentiels d'utilisation très différents. De plus, la réflexion entourant les nanotechnologies est complexifiée du fait que la matière nanométrique est invisible à l'œil nu; leurs effets, positifs ou négatifs, seront cependant bien tangibles. Enfin, le fait qu'il s'agisse de technologies en émergence signifie également qu'il est aujourd'hui impossible de prévoir toutes les applications qui verront le jour et quelles pourraient être leurs répercussions sur le Québec et sur le reste du monde.

La réflexion sur les enjeux éthiques et sociaux des technologies s'amorce à peine et il faudra continuer à réfléchir, discuter, émettre des opinions sur les nanotechnologies et sur la manière d'assurer leur développement harmonieux. Aussi, la Commission estime-t-elle nécessaire que se poursuive sa réflexion sur des questions plus précises que l'État pourrait se poser en ce qui concerne la gestion responsable des nanotechnologies, au fur et à mesure des orientations ou des décisions qu'il aura à prendre en la matière dans l'avenir.

Annexe 1

Quelques exemples d'applications des nanotechnologies

Industries automobile et aéronautique: des matériaux renforcés par des nanoparticules pour être plus légers, des pneus renforcés par des nanoparticules pour durer plus longtemps et qui sont recyclables, de la peinture extérieure et des vitres autonettoyantes, des plastiques ininflammables et peu coûteux, des textiles et recouvrements infroissables, qui résistent aux taches et se réparent d'eux-mêmes, des catalyseurs.

Industries de l'électronique et des communications: enregistrement de données avec des médias utilisant les nanocouches et les points quantiques, des écrans plats, la technologie sans fil, des capteurs, de nouveaux appareils et processus dans tout le domaine des technologies de l'information et de la communication, des vitesses de traitement et des capacités d'enregistrement moins coûteuses tout en étant des millions de fois plus rapides que les méthodes actuelles et en consommant moins d'énergie.

Industries chimiques et des matériaux: des catalyseurs qui augmentent l'efficacité énergétique des usines de transformation chimique et qui accroissent l'efficacité de la combustion des véhicules moteurs (ce qui va diminuer la pollution), des outils de coupe extrêmement durs et résistants, des fluides magnétiques intelligents pour les lubrifiants et les joints d'étanchéité, des filtres pour la séparation des molécules.

Industries pharmaceutique, des biotechnologies et des soins de santé: de nouveaux médicaments basés sur des nanostructures, des systèmes de diffusion des médicaments qui ciblent des endroits précis dans le corps humain, des matériaux de remplacement biocompatibles avec les organes et les fluides humains, des tests d'autodiagnostic pouvant être utilisés à domicile, des capteurs pour des laboratoires tenant sur une puce, des matériaux pour la régénération des os et des tissus, des produits cosmétiques.

Secteur manufacturier: une ingénierie de précision pour la production de nouvelles générations de microscopes et d'instruments de mesure, de nouveaux processus et de nouveaux outils pour manipuler la matière au niveau atomique, des nanopoudres incorporées dans des matériaux en vrac avec des propriétés spéciales telles que des senseurs qui détectent les bris imminents et des contrôles en mesure de corriger le problème, autoassemblage de structures à partir de molécules, des matériaux inspirés par la biologie ainsi que des biostructures.

Secteur de l'énergie: de nouveaux types de batteries, photosynthèse artificielle permettant de produire de l'énergie de façon écologique, entreposage sécuritaire de l'hydrogène pour utilisation comme combustible propre, des économies d'énergie résultant de l'utilisation de matériaux plus légers et de plus petits circuits, des revêtements nanostructurés, des piles à combustible, des piles solaires, des catalyseurs.

Exploration de l'espace: des véhicules spatiaux plus légers, une production et une gestion plus efficaces de l'énergie, des systèmes robotiques très petits et efficaces.

Environnement: des membranes sélectives qui peuvent filtrer les contaminants ou encore le sel de l'eau, des pièges nanostructurés pour enlever les polluants des rejets industriels, la caractérisation des effets des nanostructures sur l'environnement, des réductions importantes dans l'utilisation des matériaux et de l'énergie, la réduction des sources de pollution, des possibilités nouvelles pour le recyclage.

Domaine militaire: des détecteurs et des correcteurs d'agents chimiques et biologiques, des circuits électroniques beaucoup plus efficaces, des matériaux et des recouvrements nanostructurés beaucoup plus résistants, des textiles légers qui se réparent d'eux-mêmes, le remplacement du sang, des systèmes de surveillance miniaturisés, de nouveaux types d'armes.

Conseil de la science et de la technologie*

* *Op. cit.* ; cette liste présentée par le Conseil dans son avis sur les nanotechnologies, p. 3, est tirée de: NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL (États-Unis), *Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report*, septembre 1999 [en ligne] <http://www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Research.Directions/cover.pdf>. La Commission la reproduit ici avec quelques modifications mineures.

Annexe 2

Aperçu prospectif d'applications des nanotechnologies*

Secteur des technologies de l'information

Matériaux/techniques	Applications	Échelle de temps (entrée sur le marché)
Pré-2015		
Structures à puits quantiques	Télécommunications/industrie de l'optique. Potentiel pour des applications dans le développement des lasers utilisés dans la communication des données.	Laser à puits quantique déjà utilisé dans les lecteurs CD. Pas optimisé pour le domaine des communications (dans 4-6 ans).
Structures à points quantiques	Utilisation des communications à fibres optiques pour construire des ordinateurs.	Points quantiques toujours au stade de la recherche (dans 7-8 ans).
Technologies des cristaux photoniques	Secteur des communications par fibres optiques. Les circuits photoniques intégrés peuvent être théoriquement mille fois plus denses que les circuits électroniques. Les nouvelles propriétés et le confinement ouvrent la voie à des dispositifs consommant beaucoup moins d'énergie.	Au stade de la R-D. Intérêt commercial très grand.
Nanotubes de carbone en nanoélectronique	Mémoire et stockage: prototypes commerciaux de mémoires vives (RAM), d'écrans et de papier électronique (E-paper).	Écrans plats disponibles. Prototypes commerciaux de mémoires vives. Commercialisation de papier électronique bientôt.
Spintronique: utilisation du spin de l'électron pour l'électronique	Disques durs à ultra-haute capacité et mémoires d'ordinateurs.	Démonstration de têtes de lecture.
Polymères	Technologies de l'affichage (écrans).	Commercialisation en cours.
Post-2015		
Électronique moléculaire (y compris ordinateurs à ADN)	Circuits basés sur une molécule et transistors à un électron.	Démonstration d'un transistor à un électron. Toujours immature mais potentiel énorme.
Traitement quantique de l'information	Utilisation de la physique quantique pour le traitement des données à l'aide d'ordinateurs quantiques.	Au stade de la recherche fondamentale.

* Tableau produit par Marco BLOUIN. Information tirée en partie de: Alexander Huw ARNALL, *Future Technologies, Today's Choices. Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics; A Technical, Political and Institutional Map of Emerging Technologies*, A report for the Greenpeace Environmental Trust, Londres, juillet 2003 [en ligne] <http://www.greenpeace.org.uk/MultimediaFiles/Live/FullReport/5886.pdf>.

Secteur pharmaceutique et secteur médical

Matériaux/techniques	Propriétés	Applications	Échelle de temps (entrée sur le marché)
Diagnostic			
Marqueurs nanométriques	Détection de faibles quantités d'une substance, jusqu'à seulement une molécule.	Détection de cellules cancéreuses.	Long terme.
Laboratoire sur puce (<i>lab-on-a-chip</i>)	Miniaturisation et augmentation de la vitesse du processus d'analyse.	Laboratoires portatifs miniatures pour l'industrie chimique, en contrôle et en prévention des maladies, en environnement.	Sur le marché, mais le coût est élevé.
Points quantiques	Les points quantiques rendus sensibles à des molécules peuvent les détecter précisément selon leurs spectres lumineux uniques.	Diagnostic.	Au stade de développement embryonnaire. Intérêt commercial.
Libération de médicaments			
Nanoparticules (50-100 nm)	Peuvent pénétrer les pores des cellules cancéreuses.	Traitement du cancer.	Long terme.
Contrôle nanométrique de la taille (100-200 nm)	Faible solubilité.	Traitement plus efficace avec les médicaments actuels.	Long terme.
Polymères	Ces molécules peuvent être modulées avec un très haut degré de fidélité.	Transport nanobiologique de médicaments.	Long terme.
Ligands sur des nanoparticules	Ces molécules peuvent être modulées avec un très haut degré de fidélité.	Les ligands peuvent reconnaître les tissus endommagés et libérer le médicament à cet endroit précis.	Long terme.
Nanocapsules	Peuvent franchir le système immunitaire pour transporter directement l'agent thérapeutique vers le site concerné.	Traitement du sida, du cancer.	Essais cliniques préliminaires sur des fullerènes de Buckminster (« buckyballs ») pour le traitement du sida.
Adhérence accrue sur les particules	Augmentation de la rétention locale des médicaments.	Libération lente de médicaments.	Long terme.
Matériaux nanoporeux	Peuvent franchir le système immunitaire pour transporter directement l'agent thérapeutique vers le site concerné.	Implants pour la libération contrôlée de médicaments.	Stade préclinique pour le traitement du diabète.
Pharmacie sur puce	Mesure la condition du patient, régule et maintient le taux hormonal.	Traitement du diabète.	À un stade moins avancé que le laboratoire sur puce.
Membranes nanoporeuses	Triage de biomolécules.	Analyses des gènes et séquençage.	Commercialisation en cours.

Régénération, croissance et réparation de tissus			
Prothèses	Miniaturisation, baisse de poids, résistance accrue, biocompatibilité accrue.	Rétine, implants cochléaires, colonne vertébrale.	Les premiers produits commerciaux seront probablement les greffons pour les tissus externes. Ensuite, dents, implants osseux, tissus internes.
Manipulation cellulaire	Manipulations et confinements de cellules.	Remplacement de tissus nerveux, croissance d'organes de remplacement.	6-7 ans.

Domaine de l'énergie

Matériaux/techniques	Applications	Échelle de temps (entrée sur le marché)
Production d'énergie		
Matériaux polymériques	Cellules solaires.	5 ans.
Combinaison de molécules organiques et inorganiques	Cellules solaires. Traitement photocatalytique de l'eau. Le processus de fabrication pourrait être très peu coûteux.	Commercialisation en cours, mais limitée. Les applications de faible consommation d'énergie entreront sur le marché en premier.
Puits quantiques	Cellules solaires à puits quantiques. L'absorption d'une plus large partie du spectre solaire permettrait d'augmenter l'efficacité des cellules solaires.	Recherche fondamentale.
Nanocolonnes	Ces structures peuvent être modulées pour être sensibles à différentes parties du spectre solaire. Cellules solaires à faible coût.	Long terme.
Conversion de carburant/stockage		
Catalyseurs nanostructurés	Conversion de carburant.	Actuel – 5 ans.
Nanotubes	Stockage de carburant : hydrogène, méthane pour les piles à combustible.	2-5 ans.
Nanoparticules	Amélioration des capacités des batteries.	Long terme.
Hydrures métalliques nanostructurés	Stockage d'hydrogène pour les piles à combustible.	1-5 ans

Annexe 3

Questionnement relatif aux divers enjeux des nanotechnologies en matière de recherche, de développement et de commercialisation au Canada*

I. Perception et participation du public

- Quelle est la perception du public à propos des nanotechnologies, au Canada et ailleurs ? Sur quoi se fonde cette perception ?
- Quelles formes revêtent les représentations populaires des nanotechnologies et quels sont leurs impacts ?
- Quel devrait être le rôle des scientifiques dans le débat public entourant les nanotechnologies ?
- Quelles stratégies de communication et de participation doivent être élaborées afin de favoriser un débat réel sur les risques et les bénéfices des nanotechnologies ?

II. Enjeux de réglementation

- Quels sont les effets des nanoparticules et des nanomatériaux sur l'environnement et sur l'être humain ?
- Quel devrait être le rôle du principe de précaution dans la réglementation des nanomatériaux et des nanotechnologies ?
- Étant donné leurs propriétés uniques et distinctes, est-ce que les nanotechnologies peuvent être balisées de façon appropriée par le cadre réglementaire existant ?
- Si des modifications législatives ou réglementaires sont nécessaires dans le contexte des nanotechnologies, un niveau de coopération sans précédent devra alors exister entre les divers paliers gouvernementaux, mais également entre les divers organismes de chaque palier. Comment s'assurer que le cadre réglementaire mis en place pour les nanotechnologies sera logique, efficace, transparent, et qu'il sera en mesure de s'adapter aux changements technologiques ?

III. Enjeux économiques et de commercialisation

A. Enjeux généraux de commercialisation

- Quel sera l'impact économique des nanotechnologies ? Quelles seront les conséquences économiques de la commercialisation des nanotechnologies sur les divers secteurs économiques ?
- Quelles méthodes peuvent être utilisées afin d'évaluer les impacts sur l'économie d'une technologie de rupture ?
- Est-ce que les modes de commercialisation des nanotechnologies seront différents de ceux utilisés pour d'autres technologies ? Si oui, en quoi consisteront ces différences ? Des situations particulières pourraient-elles entraîner des conflits d'intérêts ?

B. Enjeux de propriété intellectuelle

- Quels seront les enjeux relatifs à la propriété intellectuelle ? Est-ce que ces enjeux seront différents de ceux qui sont liés à d'autres technologies émergentes ?
- Est-ce que le développement de la propriété intellectuelle et son exploitation, en tant que partie intégrante du processus de commercialisation, poseront des défis particuliers pour la commercialisation des nanotechnologies ?

* Lorraine SHEREMETA et Abdallah S. DAAR, « The Case for Publicly Funded Research on the Ethical, Environmental, Economic, Legal and Social Issues Raised by Nanoscience and Nanotechnology (NE³LS) », *Health Law Review*, vol. 12, n° 3, 2004.

IV. Gouvernance, mondialisation et équité

- Quel sera l'impact des nanotechnologies sur les pays en développement ainsi que sur les communautés marginalisées du Canada ?
- Comment s'assurer que les bénéfices des nanotechnologies seront partagés de façon équitable avec les populations des pays en voie de développement et les communautés moins nanties du Canada ? Comment éviter que se creuse un fossé nanotechnologique ?
- Y a-t-il une place pour le partage des bénéfices dans un contexte de commercialisation des nanotechnologies ?

V. Enjeux philosophiques et éthiques

- Quels sont les enjeux philosophiques plus larges qui doivent être évalués dans le cadre du développement des nanotechnologies ?
- Quels seront les impacts des nanotechnologies sur les perceptions et les définitions de ce qui est normal, tant sur le plan de la santé que de la maladie ?
- Comment et dans quels domaines les nanosciences et les nanotechnologies risquent-elles de perturber les conceptions traditionnelles de la vie privée et de la confidentialité ?

VI. Enjeux liés aux applications spécifiques

- Quels sont les usages militaires anticipés des nanotechnologies ? De quelle manière ces usages devraient-ils être encadrés ?
- Quelles sont, en santé, les applications potentielles des nanotechnologies ? Quels défis risquent-elles de poser sur les plans éthiques, légaux et sociaux ?
- Quelles sont les applications possibles des nanotechnologies relativement aux handicaps et à l'amélioration des capacités ? Quels effets ces applications auront-elles sur la société ?

Les membres de la Commission de l'éthique de la science et de la technologie*

Présidente

M^e Édith Deleury

Professeure – Faculté de droit
Université Laval

Membres

Patrick Beaudin

Directeur général
Société pour la promotion de la science
et de la technologie

Louise Bernier

Doctorante en droit (bioéthique, génétique et droit)
Université McGill

Sabin Boily

Consultant Valorisation-Innovation

D^r Pierre Deshaies

Médecin spécialiste en santé communautaire
Chef du département clinique de santé publique
Hôtel-Dieu de Lévis

Hubert Doucet

Professeur de bioéthique
Faculté de médecine et Faculté de théologie
Université de Montréal

Benoît Gagnon

Chercheur
Chaire Raoul-Dandurand en études stratégiques
et diplomatiques (UQAM)
Doctorant à l'Université de Montréal

Jacques T. Godbout

Sociologue
Institut national de la recherche scientifique –
Urbanisation, Culture et Société

Michèle S. Jean

Centre de recherche en droit public
Université de Montréal
Présidente de la Commission canadienne
pour l'UNESCO

Johane Patenaude

Professeure (éthique)
Faculté de médecine
Université de Sherbrooke

François Pothier

Professeur
Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation
Université Laval

Eliana Sotomayor

Travailleuse sociale
Doctorante à l'Université de Montréal

(un siège vacant)

Membres invités

Geneviève Bouchard

Sous-ministre adjointe
Direction générale des politiques
Ministère de l'Emploi et de la Solidarité sociale
(Québec)

M^e Danielle Parent

Avocate
Bureau du Commissaire au lobbyisme du Québec

Coordonnatrice

Diane Duquet

* Au moment de l'adoption de l'avis.