

ENJEUX ÉTHIQUES ET SOCIAUX DE LA NANOMÉDECINE : LE POINT SUR LA QUESTION¹

Philippe-Aubert CÔTÉ²

Lex Electronica, vol. 17.2 (Automne/Fall 2012)

Sommaire

INTRODUCTION	2
I. NANOTECHNOLOGIES ET NANOMÉDECINE : GÉNÉRALITÉS	2
II. QUESTIONS ÉTHIQUES SOULEVÉES PAR LA NANOMÉDECINE : MÉTHODOLOGIE .	4
III. RECENSION DE LA LITTÉRATURE EN ÉTHIQUE : CONSTATATIONS	4
3.1 PRINCIPAUX THÈMES ÉTHIQUES IDENTIFIÉS	5
3.2 EXAMEN DE QUELQUES THÈMES ÉTHIQUES PLUS SPÉCIFIQUES À LA NANOMÉDECINE	6
3.2.1 TOXICITÉ (SANTÉ ET ENVIRONNEMENT)	6
3.2.2 ÉTHIQUE CLINIQUE ET ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE	6
3.2.3 OPTIMISATION DES PERFORMANCES HUMAINES	7
3.2.4 GOUVERNANCE	8
3.3 QUELQUES REMARQUES	100
IV. RECENSION DE CERTAINES APPLICATIONS DES NANOTECHNOLOGIES DANS LE SECTEUR DE LA SANTÉ	12
CONCLUSION	15
REMERCIEMENTS	17

¹ Texte de la communication présentée lors du colloque étudiant Regroupement Droit, Changements et Gouvernance (9 février 2012)

² Biologiste, M. Sc., candidat au Ph. D. en Sciences biomédicales, option bioéthique, Université de Montréal. Auxiliaire de recherche pour Thérèse Leroux au CRDP, Axe Droit biotechnologies et société.

Introduction

Le projet « De la nanomédecine à la nanosanté : quelle éthique et quelle gouvernance? » de la professeure Thérèse Leroux, est composé de trois volets : 1) définition de la nanosanté, 2) identification des enjeux éthiques et sociaux de la nanomédecine et 3) modélisation de la gouvernance de la nanomédecine. C'est dans le cadre du second volet que nous devons effectuer une revue de littérature. Notre mission était de faire le point sur les questions éthiques et sociales soulevées par la nanomédecine et de vérifier, par la même occasion, si celle-ci soulève des enjeux éthiques nouveaux.

Cette présentation a pour but d'exposer brièvement les stratégies choisies pour réaliser notre revue de littérature ainsi que les conclusions auxquelles cette dernière nous a conduits. Nous commencerons par expliquer ce que sont les nanotechnologies et, de là, ce qu'est la nanomédecine. Nous aborderons ensuite les questions éthiques soulevées par cette dernière dans la littérature et, dans un troisième temps, les questions éthiques que nous pouvons associer aux applications concrètes de la nanomédecine. Enfin, nous discuterons de l'ensemble des informations recueillies pour faire le point sur les enjeux éthiques et sociaux de la nanomédecine.

I. Nanotechnologies et nanomédecine : généralités

Les nanotechnologies impliquent la manipulation de la matière à l'échelle du nanomètre – un milliardième de mètre, soit l'échelle des molécules et des atomes – dans le but de créer des matériaux aux propriétés nouvelles et susceptibles d'être employés à des fins diverses³.

Un exemple classique dans les cours de chimie, celui du graphite et du diamant, peut nous aider à saisir l'essence de ce que sont les nanotechnologies. Le graphite (dont sont composées les mines de crayon) et le diamant sont deux substances aux caractéristiques différentes : le premier est mou, noir et salissant, alors que le second est cristallin, blanc et résistant. Les deux substances sont pourtant composées d'atomes de carbone; pourquoi, alors, présentent-elles autant de

³ J. Genest, J. et J. Beauvais, « Nanosciences et nanotechnologies » dans : J.-P. Béland et J. Patenaude (Eds), *Les nanotechnologies : développement, enjeux sociaux et défis éthiques*, Sainte-Foy, Presses de l'Université Laval, 2009, pp. 7-36.

différences? Tout simplement parce que les atomes de carbone ne sont pas agencés de la même manière. Dans un bloc de graphite, les atomes sont disposés en « feuillets » collés les uns sur les autres et susceptibles de se détacher – ce qui explique la friabilité du graphite. Dans un diamant, chaque atome de carbone est associé à quatre autres atomes semblables répartis dans les trois plans de l'espace, engendrant ainsi un réseau tridimensionnel qui, à notre échelle, engendre un diamant⁴.

Ce qu'il faut retenir de cet exemple, c'est que les différents agencements d'un même type d'atomes ou de molécules à l'échelle du nanomètre se traduiront, à notre échelle, par des substances aux propriétés différentes. L'aluminium, par exemple, est un métal inerte quand il se présente sous forme de lingot. Si on le réduit en poudre dont chaque grain mesure quelques nanomètres, il devient extrêmement explosif⁵. L'intérêt des nanotechnologies vient de la possibilité de structurer la matière à l'échelle du nanomètre selon notre volonté pour ainsi créer des matériaux aux propriétés nouvelles. Ces matériaux peuvent ensuite servir dans différents domaines technoscientifiques : textiles (nouveaux tissus imperméables), matériaux de construction, électronique et même biomédical⁶. En effet, grâce aux nanotechnologies, on pourrait utiliser une foule de matériaux nouveaux susceptibles de nous aider à régénérer le système nerveux, dispenser de nouveaux médicaments au corps, etc. Les retombées potentielles, tant en terme d'applications, de soins et de profits, sont faramineuses. Il n'est pas étonnant d'observer dès lors un intense développement des nanotechnologies dans plusieurs pays, incluant des pays en voie de développement comme la Chine⁷.

⁴ J.-P. Bourgoïn, A. Loiseau et J.-F. Nierengarten, « Fullerènes et nanotubes de carbone ». dans M. Lahmani, C. Dupas et P. Houdy (Eds) *Les nanosciences; 1. Nanotechnologies et nanophysique*, Paris, Belin, 2009, pp. 271-310.

⁵ P. Lin et F. Allhoff, "Introduction: nanotechnology, society and ethics", dans F. Allhoff et P. Lin (eds) *Nanotechnology & Society: Current and Emerging Ethical Issues*, New York, Springer, pp. xxi-xxxiv ; Genest et Beauvais, préc., note 1.

⁶ Commission de l'éthique de la science et de la technologie (CEST). *Nanotechnologies : se donner les moyens d'agir*, Gouvernement du Québec, 2006.

⁷ M. Roco, C.A. Mirkin et M. C. Hersam. *Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020*. New York, Springer, 2010, récupéré le 30 mai 2011 de http://wtec.org/nano2/Nanotechnology_Research_Directions_to_2020/Nano_Resarch_Directions_to_2020.pdf

II. Questions éthiques soulevées par la nanomédecine : méthodologie

Cependant, les nanotechnologies ne sont pas sans soulever des questions d'ordre éthique et social. Dans le cadre de nos recherches, nous avons voulu faire le point sur la question au moyen d'une revue de littérature, en nous concentrant essentiellement sur les applications biomédicales des nanotechnologies, qu'on peut regrouper sous le terme de « nanomédecine ». Cette revue de littérature avait pour objectif de répondre aux deux questions suivantes : 1) Quels sont les enjeux éthiques soulevés par la nanomédecine; 2) Ces enjeux éthiques sont-ils spécifiques à la nanomédecine et aux nanotechnologies?

Pour répondre à ces questions, nous avons déterminé deux stratégies complémentaires. La première stratégie consistait, évidemment, en une recension de la littérature consacrée explicitement aux questions éthiques soulevées par les nanotechnologies et la nanomédecine. Toutefois, nous avons voulu, d'une certaine manière, « contre-vérifier » cette littérature en éthique. Une seconde stratégie s'est donc rapidement imposée, soit recenser les applications biomédicales des nanotechnologies pour ensuite voir le genre de questions éthiques soulevées par ces applications. Cette deuxième approche nous a rapidement mis face au problème de la définition de ce qu'on entendait par « nanomédecine » et quelles applications pouvaient être inscrites sous ce terme, comme nous le verrons.

III. Recension de la littérature en éthique : constatations

Les documents consultés pour élaborer notre revue de littérature ont consisté essentiellement en des publications académiques et des rapports officiels. Ceux-ci ont été repérés grâce à des moteurs de recherches (par exemple : OVID, Google Scholar, Pubmed, Sciencedirect) donnant accès à plusieurs banques de données en sciences pures et en sciences humaines. Nous avons aussi examiné les sites web d'organismes promoteurs des nanotechnologies (par exemple : National Nanotechnology Initiative et NanoQuébec) et d'agences gouvernementales (par

exemple : Santé Canada et la Commission de l'Éthique de la Science et de la Technologie) pour y puiser de l'information ou des publications officielles.

3.1 Principaux thèmes éthiques identifiés

La nanomédecine constitue un secteur plutôt restreint des nanotechnologies. Si certains articles traitaient spécifiquement des questions éthiques inhérentes à la nanomédecine, la majorité d'entre eux s'intéressait aux nanotechnologies dans leur ensemble. Globalement, cette littérature associait les grands thèmes suivants aux nanotechnologies et à la nanomédecine :

- 1) Toxicité (santé et environnement);
- 2) Éthique clinique et éthique de la recherche (balance des risques et des bénéfices, consentement éclairé...)
- 3) Optimisation des performances humaines;
- 4) Rôle de l'imagination dans la réflexion sur les nanotechnologies;
- 5) Gouvernance des nanotechnologies et principe de précaution;
- 6) Relations avec le public (éducation du public, dialogue, acceptation du public);
- 7) Problèmes légaux (brevets-régulation);
- 8) Financement de la recherche;
- 9) Questions relatives à la justice, l'équité, l'accessibilité;
- 10) Vie privée et confidentialité;
- 11) Aspects militaires des nanotechnologies, terrorisme.

Dans la suite de cette présentation, nous exposerons sommairement quatre de ces thèmes : la toxicité, l'éthique clinique et l'éthique de la recherche, l'optimisation des performances humaines et la gouvernance. Une grande majorité des questions éthiques mentionnées dans la littérature semblent concerner essentiellement ces sujets. Il nous semble ici adéquat de nous concentrer en priorité sur ceux-ci.

3.2 Examen de quelques thèmes éthiques plus spécifiques à la nanomédecine

3.2.1 Toxicité (santé et environnement)

La principale préoccupation de la nanomédecine rencontrée dans la littérature concerne la toxicité des nanoproduits employés à des fins médicales. De par leur définition même, les nanoproduits méritent notre intérêt parce qu'ils possèdent des propriétés particulières engendrées par leur taille nanométrique ou parce que leurs atomes ont été reconfigurés. Si ces propriétés particulières peuvent être avantageuses sur le plan médical (ex. : un revêtement métallique plus biocompatible, des nanoparticules capables de chauffer les tumeurs lors d'une IRM, etc.), elles pourraient présenter des effets indésirables. Des nanoproduits *a priori* intéressants pourraient en effet se révéler carrément dangereux une fois dans l'organisme (toxicité nouvelle, capacité à vectoriser des poisons à travers la barrière hémato-encéphalique, etc.)⁸. L'évaluation de la toxicité des nanoproduits, bien que réalisable, demeure un véritable casse-tête pour les toxicologues. Même si une telle difficulté constitue davantage un défi pour les toxicologues⁹ qu'un problème éthique, il faut préciser que nos lacunes actuelles en matière de toxicologie des nanoproduits peuvent avoir des répercussions importantes dans plusieurs champs de l'éthique, notamment l'éthique clinique, l'éthique de la recherche et l'application du principe de précaution¹⁰.

3.2.2 Éthique clinique et éthique de la recherche

La nanomédecine pourrait modifier radicalement la relation médecin-patient, ainsi que la dynamique des activités médicales traditionnelles, telles qu'on les pratique dans les cabinets de médecins, les hôpitaux, etc. Nous reviendrons plus loin sur ces modifications. Nous pouvons d'ores et déjà signaler que le consentement éclairé des patients à une thérapie, ou encore

⁸ E. Klein, *Le small bang des nanotechnologies*, Paris, Odile Jacob, 2011. ; C.J. Preston, M.Y. Sheinin, D.J. Sproat et al. "The Novelty of Nano and the Regulatory Challenge of Newness", *Nanoethics*, 2010, 4: 13-26 ; R. Bawa et S. Johnson, "Emerging Issues in Nanomedicine and Ethics", dans: Allhoff, F. & Lin, P. (Eds), *Nanotechnology and Society: Current and Emerging Ethical Issues*, Springer, 2009, pp. 207-223. ; F. Allhoff, "On the Autonomy and Justification of Nanoethics", *Nanoethics*, 2007, 1: 185-210.

⁹ E. Klein, A. Grinbaum et V. Bontems. *Le débat sur les nanosciences : enjeux pour le CEA*. DSM-LARSIM. Publication S07/093, 2007, récupéré le 18 avril 2012 de <http://bugin.free.fr/teleduplicable/RapportLARSIM-2007.pdf>

¹⁰ D.B. Resnik et S.S. Tinkle, "Ethical issues in clinical trials involving nanomédecine", *Contemporary Clinical Trials*, 2007, 28: 433-441.

l'évaluation des risques et des bénéfices par le médecin et le patient, constituent des problèmes fondamentaux de l'éthique clinique susceptibles d'être exacerbés par les nanotechnologies. En effet, les incertitudes actuelles liées, entre autres, à la toxicité des nanoproduits pourraient compliquer l'obtention d'un consentement véritablement éclairé des patients en cas d'application clinique, sans oublier l'évaluation au préalable des risques et des bénéfices. Le même genre d'exacerbation pourrait être rencontré en éthique de la recherche : les comités d'éthique de la recherche, mais aussi les chercheurs et les sujets, seront-ils en mesure d'évaluer les risques et les bénéfices lors d'une recherche impliquant des nanoproduits? Sera-t-il possible d'obtenir le consentement éclairé des sujets de recherche, conformément aux procédures standards et aux lois applicables à toute recherche impliquant des êtres humains?¹¹ Il s'agit là de questions qui font intervenir des principes bien connus en bioéthique, notamment le principe d'autonomie, le principe de bienfaisance et le principe de non-malfaisance¹².

3.2.3 Optimisation des performances humaines

L'optimisation des performances humaines est un autre thème rencontré fréquemment dans la littérature sur les nanotechnologies¹³. Selon certains auteurs¹⁴, cette optimisation constituerait le principal problème éthique soulevé par les nanotechnologies.

Il se dégage de notre revue de littérature, que les préoccupations associées à l'optimisation des performances humaines sont soulevées par rapport à deux aspects des nanotechnologies : d'une part, quant aux *buts* que certains auteurs attribuent aux nanotechnologies, d'autre part quant aux *applications* à plus ou moins long terme de celles-ci.

D'abord, certains auteurs associent explicitement l'amélioration de l'être humain aux nanotechnologies; cette amélioration devient, chez eux, un « but » explicite de celles-ci.¹⁵ Il faut

¹¹ I. Malsch et K.H. Nielsen, *Nanobioethics. ObservatoryNano 2nd Annual Report on Ethical and Societal Aspects of Nanotechnology*, 2010, récupéré le 18 avril 2012 de <http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/NanobioethicsApril2010.pdf>; Resnik et Tinkle, préc., note 9.

¹² T.L. Beauchamp et J.F. Childress, *Les principes de l'éthique biomédicale*, Paris, Les Belles Lettres, 2008.

¹³ D. Bennett-Woods, "Nanotechnology : nanotechnology and human enhancement". Dans G.L. Comstock (Ed.) *Life Science Ethics*, Springer, pp. 435-450. ; I. Malsch et K.H. Nielsen, préc., note 10 ; F. Jotterand, "Beyond therapy and enhancement: the alteration of human nature", *Nanoethics*, 2: 15-23. ; CEST, préc. note 5.

¹⁴ Klein et al., préc., note 8.

¹⁵ R. Bawa et S. Johnson, préc., note 7; R. Bawa et S. Johnson, " The ethical dimensions of nanomedicine", *The Medical Clinics of North America*, 2007, 91: 881-887.

cependant noter que cette vision « téléologique » des nanotechnologies ne fait pas l'unanimité : plusieurs chercheurs, dans les cas où ils n'affichent carrément pas une hostilité ouverte envers les idées transhumanistes¹⁶, se gardent d'associer explicitement l'amélioration de l'être humain aux nanotechnologies¹⁷. Par ailleurs, certaines applications médicales des nanotechnologies (comme celles que nous verrons plus loin) pourraient, il faut l'admettre, contribuer à la mise au point de technologies ou de produits susceptibles de servir à une optimisation des performances humaines, par exemple de nouveaux médicaments pour stimuler le système nerveux, des implants cérébraux ou des molécules mimant l'hémoglobine pouvant accroître les performances physiques.

Nous remarquons d'ailleurs que si l'on peut contester l'idée que les nanotechnologies portent *en elles-mêmes* le but d'optimiser l'être humain (cet objectif ne figurant, somme toute, que dans l'agenda de quelques chercheurs marginaux), il faut bien avouer que, à l'instar de plusieurs autres domaines technoscientifiques, les nanotechnologies offrent des applications susceptibles de contribuer à une éventuelle optimisation des performances humaines. Une telle optimisation remettrait évidemment en question notre définition de ce qu'est l'être humain, mais d'autres thèmes éthiques seraient aussi mis en cause : liberté, autonomie, sécurité, santé, équité, ruptures sociales, dignité humaine, etc.¹⁸

3.2.4 Gouvernance

Les préoccupations que nous venons de soulever concernent surtout les *impacts* des nanotechnologies sur la santé, la nature humaine, l'application des codes d'éthique de la recherche et sur les activités médicales. Toutefois, la littérature en éthique s'intéresse aussi à ce qui se passe en *amont* des nanotechnologies; autrement dit, à la gouvernance¹⁹ que nous pouvons mettre en place pour que les impacts de celles-ci, en aval, soient les plus positifs possible²⁰.

¹⁶ Les transhumanistes sont des chercheurs, philosophes, artistes, etc. qui prônent l'amélioration de l'être humain par la technologie. On peut citer, comme exemple de transhumanistes célèbres, Ray Kurzweill (USA), Gregory Stock (USA) et Nick Bostrom (UK). Voir à ce sujet A. Robitaille, *Le nouvel homme nouveau*, Montréal, Boréal, 2007; J.P. Béland et al., *L'homme biotech : humain ou posthumain?* Sainte-Foy, Presses de l'Université Laval, 2006; D. Lecourt, *Humain, post-humain*, Presses Universitaires de France, 2003; G. Stock, *Redesigning humans*, Houghton Mifflin, 2002.

¹⁷ F. Allhoff, "The coming era of nanomedicine", *The American Journal of Bioethics*, 2009, 9(10): 3-11.

¹⁸ P. Lin et F. Allhoff, "Untangling the Debate: the Ethics of Human Enhancement", *Nanoethics*, 2008, 2: 251-264.

¹⁹ Ici, nous entendons le terme « gouvernance » dans son sens le plus large, soit celui de la définition de l'Office de la langue française, reprise dans G.A. Legault, « Gouvernance du développement des nanotechnologies : quel mode pour quel devenir? » Dans J.P. Béland et J. Patenaude (Eds) *Les nanotechnologies : développement, enjeux sociaux*

La majorité des articles sur la gouvernance que nous avons consultés semble porter essentiellement sur la manière d'évaluer adéquatement les risques des nanotechnologies pour mieux orienter le développement de celles-ci. Ces articles traitent beaucoup de la définition du risque, de sa quantification, de sa communication, de ce qui constitue un risque acceptable, des instances à impliquer dans son évaluation, des législations à adopter en la matière, etc.²¹ Nous pouvons inclure dans cette catégorie les publications traitant de l'application du principe de précaution aux nanotechnologies, ainsi que l'imposition d'un moratoire visant ces dernières. En effet, les membres de certains groupes activistes²² ont déjà réclamé l'adoption d'un moratoire envers toutes les recherches concernant les nanotechnologies, comme cela a été le cas pour les premières transplantations d'organes. Un moratoire de ce genre reste toutefois illusoire, car il affecterait la quasi-totalité des recherches scientifiques actuelles.²³ Le même genre de réflexion a cours quant à l'adoption trop radicale du principe de précaution. Même si le principe de précaution ne semble pas beaucoup évoqué dans la littérature sur les nanotechnologies, certains rapports européens recommandent de l'employer non pas pour bloquer le développement des nanotechnologies en recherchant à réduire les risques de celles-ci à zéro, mais plutôt de manière à assurer que les nanotechnologies se développent tout en ne représentant qu'un risque « minimal » pour la population²⁴.

et défis éthiques, Sainte-Foy, Les Presses de l'Université Laval, 2009, 38 : « Manière d'orienter, de guider, de coordonner les activités d'un pays, d'une région, d'un groupe social ou d'une organisation privée ou publique. »

²⁰ R. Karinen et D.H. Guston, "Toward Anticipatory Governance: the Experience with Nanotechnology", dans M. Kaiser, M. et al. (Eds) *Governing Future Technologies*. *Sociology of the Sciences Yearbook*, 2010, 27: 217-232. ; M. Roco et al., préc., note 6. ; M. Kurath, "Nanotechnology Governance. Accountability and Democracy in New Modes of Regulation and Deliberation", *Science, Technology & Innovation Studies*, 2009, 5(2): 87-110. ; I. Malsch et K.H. Nielsen, *Individual and Collective Responsibility for Nanotechnology. First Annual Report on Ethical and Social Aspects of Nanotechnology*, 2009, récupéré le 19 avril 2012 de <http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/annrep1responsibility1.pdf>; G.A. Legault, préc., note 18.

²¹ I. Malsch et K.H. Nielsen, préc., note 19.

²² On peut citer comme exemple le groupe des Amis de la terre, qui se sont prononcés publiquement pour l'adoption d'un moratoire sur les nanotechnologies. Voir : Les Amis de la terre, *Un moratoire sur les nanotechnologies est aujourd'hui la seule solution raisonnable*, 2009, récupéré le 15 mai 2012 de http://www.debatpublicnano.org/documents/liste-cahier-acteurs.html?id_document=55; C. Berdot, *Nanotechnologies : « Conférence » ou manipulation des citoyens?*, 2006, récupéré le 15 mai 2012 de <http://www.amisdelaterre.org/Nanotechnologies-Conference-ou.html>

²³ K. Mills et C. Fledderman, "Getting the Best from Nanotechnology: Approaching Social and Ethical Implications Openly and Proactively", *IEEE Technology and Society Magazine*, Winter 2005: 18-26.

²⁴ European Group of Ethics (EGE), "Ethical Aspects of Nanomedicine: a Condensed Version of the EGE Opinion 21", dans F. Allhoff et P. Lin (Eds), *Nanotechnology & Society: Current and Emerging Ethical Issues*, Springer, 2009, pp. 187-206.

Si une bonne partie de la littérature sur la gouvernance s'intéresse à la gestion du risque, certains auteurs rappellent que le risque et la toxicité ne sont pas les seules questions importantes en matière de gouvernance²⁵. Ces auteurs se concentrent essentiellement sur le besoin d'établir un dialogue entre « développeurs de nanotechnologies » et public dans le but, soit de rendre le public favorable aux nanotechnologies, soit d'inclure le public dans la prise de décision concernant la direction à prendre quant au développement des nanotechnologies.²⁶ Certains auteurs vont même jusqu'à affirmer que l'instauration d'un tel dialogue constitue le principal défi éthique que nous lançent les nanotechnologies.²⁷

Cette préoccupation pour le dialogue entre « développeurs de nanotechnologies » et public n'est pas surprenante si l'on se rappelle le précédent causé par la crise des OGM, où des lacunes en la matière avaient été clairement identifiées.²⁸ Il serait toutefois précipité de conclure que des initiatives de dialogue comme celles préconisées dans la littérature n'auraient pour but que de s'assurer de l'acceptation passive du public envers les nanotechnologies. De telles initiatives pourraient constituer des outils intéressants en matière de gouvernance des nanotechnologies, en permettant d'obtenir un développement harmonieux de celles-ci, socialement et éthiquement acceptables.

3.3 Quelques remarques

La littérature en éthique semble ressasser les mêmes grands thèmes depuis une dizaine d'années. Si ceux-ci sont omniprésents dans la littérature abordant les aspects éthiques des nanotechnologies et de la nanomédecine, ils ont cependant déjà été soulevés dans d'autres domaines. Par exemple, les questions d'optimisation des performances humaines et de respect de la vie privée se posent déjà dans le domaine de la thérapie génique, du médicament et des

²⁵ W.L. Robison, "Nano-technology, Ethics, and Risks", *Nanoethics*, 2011, 5: 1-13. ; R. Jones, "It's not just about nanotoxicology", *Nature Nanotechnology*, 2009, 4: 615. ; Klein et al., préc. note 8.

²⁶ D.J. Sylvester, K.W. Abott et G.E. Marchant, "Not again! Public Perception, Regulation, and Nanotechnology", *Regulation & Governance*, 2009, 3: 165-185.

²⁷ R.E. Thompson, "Nanotechnology: Science Fiction? Or Next Challenge for the Ethics Committee?" *The physician executive*, May-June 2007: 64-66.

²⁸ R. Bawa et S. Johnson, préc., note 7.

implants.²⁹ Également, si les applications biomédicales des nanotechnologies peuvent compliquer le travail de l'éthique de la recherche, il faut admettre que toutes les recherches médicales impliquant des êtres humains présentent des risques et des incertitudes. En un sens, les recherches biomédicales impliquant des êtres humains n'ont pas attendu les nanotechnologies pour se révéler dangereuses, comme en témoignent le cas Gelsinger et le cas du TGN1412³⁰. Certains auteurs mentionnent explicitement que les nanotechnologies et la nanomédecine soulèvent les mêmes questions éthiques qu'en génétique, en biotechnologie, etc.³¹ D'autres concluent qu'actuellement, aucune question nouvelle n'émerge et qu'il n'existe pas de fondations assez solides pour même justifier l'existence d'une « nanoéthique ».³²

Toutefois, comme le dit McGinn³³, même si les nanotechnologies ne soulèvent pas de questions éthiques *nouvelles*, il n'en reste pas moins qu'elles soulèvent des questions éthiques; elles méritent, par conséquent, d'être examinées. Ensuite, il faut admettre que l'évaluation éthique des nanotechnologies se produit à un stade très précoce de leur développement et qu'il est normal, actuellement, d'avoir des problèmes à identifier de nouvelles questions éthiques.³⁴ Ce serait une erreur de conclure aujourd'hui que la réflexion éthique sur les nanotechnologies tourne en rond, qu'elle peut déjà être close. Les nanotechnologies commencent à peine à se répandre dans la société. Or, c'est surtout lorsqu'une technologie donnée se répand comme pratique courante dans la société que les questions éthiques apparaissent et se multiplient.³⁵

²⁹ S.O. Hansson, "Implant Ethics". *Journal of Medical Ethics*, 2005, 31: 519-25.

³⁰ F. Allhoff, préc., note 16; G. Suntharalingam, M.R. Perry, S. Ward, S.J. Brett, A. Castello-Cortes et al. "Cytokine Storm in a Phase 1 Trial of the Anti-CD28 Monoclonal Antibody TGN1412", *New England Journal of Medicine*, 2006, 355 (10) : 1018-1028.

³¹ M. Ebbesen, S. Andersen et F. Besenbacher. "Ethics in Nanotechnology: Starting from Scratch?" *Bulletin of Science, Technology & Society*, 2006, 26(6): 451-462.

³² F. Allhoff, préc., note 7.

³³ R.E. McGinn, "What's Different, Ethically, about Nanotechnology? Foundational Questions and Answers", *Nanoethics*, 2010, 4: 115-128.

³⁴ A. Rip et C. Shelley-Egan, "Positions and Responsibilities in the 'Real' World of Nanotechnology" Dans: R. von Schomberg et S. Davies (Eds) *Understanding Public Debate on Nanotechnologies. Options for Framing Public Policy*, 2010, pp. 31-38, récupéré le 19 avril 2012 de http://www.nanoarchive.org/8235/1/Debate_nano_100203.pdf

³⁵ J.H. Moor, "Why we Need Better Ethics for Emerging Technologies". *Ethics and Information Technology*, 2005, 7: 111-119.

IV. Recension de certaines applications des nanotechnologies dans le secteur de la santé

Pour, d'une certaine manière, « contre-vérifier » les affirmations de la littérature éthique sur les nanotechnologies, nous avons cherché à savoir quelles étaient les applications technologiques concrètes associées à la nanomédecine, afin de voir quels types de questions éthiques nous pouvions nous-mêmes rattacher à ces applications.

Cette démarche, simple à première vue, nous a forcé à définir ce que nous entendions par « nanomédecine » et, par conséquent, de sélectionner le type d'applications pouvant être inscrit ou non sous ce terme. D'un article à l'autre, il était en effet possible de recenser plusieurs définitions vagues de celle-ci, comme, par exemple, la définition de Robert Freitas³⁶, ou des définitions qui, bien que plus explicites, n'en restent pas moins très larges, comme celle de Bawa et Johnson³⁷.

La National Nanotechnology Initiative³⁸ (NNI), de son côté, identifie quatre secteurs de prédilection de la nanomédecine : 1) outils d'analyse et d'imagerie; 2) theragnostiques; 3) vectorisation de médicaments et mise au point de thérapies mieux ciblées et 4) ingénierie tissulaire et médecine régénérative.³⁹ Ces derniers reprennent les principales étapes de ce qu'on pourrait appeler le « cycle médical », soit l'ensemble des actes impliquant médecins et patients lors d'un suivi médical : 1) examen et diagnostic des maladies, 2) thérapie et 3) suivi du patient. La littérature scientifique examinée nous a d'ailleurs permis d'apprécier comment les nanotechnologies peuvent intervenir à l'une ou l'autre de ces étapes, voire plusieurs étapes à la fois. Ainsi, à l'étape du diagnostic ou du suivi des patients, les nanotechnologies peuvent être employées dans la mise au point de nouveaux agents pour l'imagerie (par exemple :

³⁶ Selon Freitas: "Most broadly, nanomedicine is the process of diagnosing, treating, and preventing disease and traumatic injury, relieving pain, and preserving and improving human health, using molecular tools and molecular knowledge of the human body. In short, nanomedicine is the application of nanotechnology to medicine." R.A. Freitas Jr, "What is Nanomedicine?" *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 2005, 1: 2.

³⁷ Selon Bawa et Johnson : "Nanomedicine may be defined as the monitoring, repair, construction, and control of human biological systems at the molecular level, using engineered nanodevices and nanostructures. Nanomedicine is, in a broad sense, the application of nanoscale technologies to the practice of medicine, namely for diagnosis, prevention, and treatment of disease and to gain an increased understanding of complex underlying disease mechanisms." (Bawa et Johnson, 2007, préc., note 14, 881)

³⁸ <http://nano.gov/about-nni/what>

³⁹ Roco et al., préc., note 6.

nanoparticules ciblant les tumeurs) ou dans la fabrication de « laboratoires sur puce » permettant d'effectuer l'analyse rapide d'une petite quantité de fluides biologiques (sang, salive...).⁴⁰ Certaines applications, parfois encore futuristes, pourraient permettre aux patients de surveiller facilement leur état de santé (par exemple : lentilles permettant aux diabétiques de mesurer leur glycémie à l'aide de leurs larmes; sondes capables de mesurer continuellement l'état physiologique d'un patient et de transmettre ces informations à un ordinateur...). Certains procédés nanométriques pourraient éventuellement détecter le risque d'un infarctus du myocarde chez un patient et ainsi permettre une intervention préventive.⁴¹

Dans le domaine thérapeutique, les nanotechnologies pourraient aider à mettre au point des médicaments capables d'atteindre plus spécifiquement leurs cibles ou de traverser des barrières naturelles qui compliquent habituellement le traitement de certaines pathologies, notamment la barrière hémato-encéphalique dans le traitement des maladies neurologiques⁴². Le cancer semble toutefois la principale pathologie ciblée par la nanomédecine⁴³, car celle-ci serait utile pour obtenir des chimiothérapies à la fois plus efficaces (contre les tumeurs multi-résistantes), avec moins d'effets secondaires et surtout plus faciles à gérer (par exemple, en permettant la mise au point de chimiothérapie par voie orale)⁴⁴.

Les médicaments ne sont pas les seuls outils apportés à la médecine par les nanotechnologies : en effet, la **médecine régénérative et l'ingénierie tissulaire** pourraient

⁴⁰ J.L. Coll, "Cancer Optical Imaging Using Fluorescent Nanoparticles", *Nanomedicine*, 2011, 6(1): 7-10. ; J.V. Jokerst et J.T. McDevitt, "Programmable Nano-bio-chips: Multifunctional Clinical Tools for Use at the Point-of-Care", *Nanomedicine (London)*, 2010, 5(1): 143-155.

⁴¹ Y. Xue, P. Clopton, W.F. Peacock et A.S. Maisel, "Serial Changes in High-sensitive Troponin I Predict Outcome in Patients with Decompensated Heart Failure", *European Journal of Heart Failure*, 2011, 13(1): 37-42. ; F. Zhou, M. Lu, W. Wang, Z.P. Bian, J.R. Zhang et al. "Electrochemical Immunosensor for Simultaneous Detection of Dual Cardiac Markers Based on a Poly(dimethylsiloxane)-gold Nanoparticle Composite Microfluidic Chip : a Proof of Principle", *Clinical Chemistry*, 2010, 56: 1701-1707.

⁴² A.V. Vergoni, G. Tosi, R. Tacchi, M.A. Vandelli, A. Bertolini & al., "Nanoparticles as Drug Delivery Agents Specific for CNS : in vivo Biodistribution", *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 2009, 5: 369-377. ; B. Asiyabola, et W. Soboyejo, "For the Surgeon: an Introduction to Nanotechnology", *Journal of Surgical Education*, 2008, 65(2): 155-161. ; S.D. Caruthers, S.A. Wickline, et G.M. Lanza, "Nanotechnological Applications in Medicine", *Current Opinion in Biotechnology*, 2007, 18 : 1-5. ; H. Devalapally, A. Chakilam et M.M. Amiji, "Role of Nanotechnology in Pharmaceutical Product Development". *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2007, 96: 2547-2565.

⁴³ M. Ferrari, M.A. Philibert et W.R. Sanhai, "Nanomedicine and Society", *Nature*, 2009, 85(5) : 466-467.

⁴⁴ S.S. Feng, L. Zhao et J. Tang, "Nanomedicine for oral chemotherapy", *Nanomedicine*, 2011, 6(3): 407-410. ; P.A. McCarron et A.M. Faheem, " Nanomedicine-based cancer targeting: a new weapon in an old ward", *Nanomedicine (London)*, 2010, 5(1): 3-5. ; S. Nie, "Understanding and overcoming major barriers in cancer nanomédecine", *Nanomedicine (London)*, 2010, 5(4): 523-528.

bénéficier d'avancées intéressantes. On peut citer en exemple la mise au point de « charpentes », constituées de nanocomposantes biodégradables sur lesquelles des organes de remplacement (par exemple : rein) pourraient se constituer *in vitro* avant d'être greffés à un patient.⁴⁵ Le même genre de technologie pourrait être employé *in vivo* : au moyen d'une simple injection, une « charpente » semblable pourrait être assemblée chez les patients ayant subi une rupture de la moelle épinière, ce qui favoriserait la régénération de celle-ci⁴⁶.

Le cas des theragnostiques est assez intéressant. Le terme semble défini de manière différente d'une publication à l'autre, mais nous pourrions le résumer ainsi : un theragnostique est une substance capable de servir à la fois d'outil diagnostique et d'outil thérapeutique. Par exemple, des nanoparticules capables de se fixer à une tumeur et de révéler celle-ci lors d'une IRM pourraient, par simple manipulation du scanneur servant à l'examen, chauffer au point de tuer la tumeur sans porter atteinte aux tissus environnants. Il serait donc possible de procéder au traitement d'une pathologie pendant qu'on la diagnostique.⁴⁷

Aussi impressionnantes ces applications soient-elles, il nous a semblé, au cours de cette revue de littérature plus « scientifique », que les nanotechnologies ne faisaient que revisiter et améliorer des technologies déjà existantes. Bien que nous ayons ratissé large, sans avoir la prétention de couvrir *toutes* les applications biomédicales des nanotechnologies (tâche impensable), il nous a semblé que les applications rencontrées ne faisaient que s'inscrire dans l'une ou l'autre des étapes du cycle médical conventionnel et suscitaient des questions éthiques similaires à celles soulevées par les technologies déjà rencontrées dans ce cycle (toxicité des médicaments, confidentialité des données, optimisation des performances humaines, bouleversement des relations médecins-patients, etc.) Néanmoins, nous pensons que les nanotechnologies exacerbent des problèmes déjà rencontrés en médecine et modifient, voire bouleversent, la dynamique des activités médicales.

Dernier point important à signaler : cette partie de la revue de littérature nous a permis de constater que certains médicaments issus des nanotechnologies sont déjà sur le marché au Canada. Fait intéressant, un seul de ces médicaments (l'Abraxane, un agent antinéoplasique) se

⁴⁵ C. Cunha, S. Panseri et S. Antonini, « Emerging nanotechnology approaches in tissue engineering for peripheral nerve regeneration », *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 2011, 7: 50-59.

⁴⁶ S. Kubinova et E. Sykova, « Nanotechnology for treatment of stroke and spinal cord injury », *Nanomedicine (London)*, 2010, 5(1): 99-108.

⁴⁷ F. Jotterand et A.A. Alexander, « Managing the “known unknowns”: theranostic cancer nanomedicine and informed consent », *Methods in Molecular Biology*, 2011, 726: 413-429.

réclame explicitement des nanotechnologies dans sa monographie⁴⁸. Il serait intéressant de vérifier si les médicaments pointés comme étant des nanoproducts rencontrent toutes les caractéristiques fondamentales associées à ceux-ci, à savoir une petite taille (1-100 nm) et l'exploitation de propriétés nouvelles qui apparaissent à cause de cette petite taille.

Conclusion

Les thèmes éthiques que nous avons pu associer à la nanomédecine dans le cadre de notre revue de littérature sont similaires à ceux rencontrés pour d'autres domaines technoscientifiques. Sur ce plan, nous pouvons conclure que, pour le moment, la nanomédecine ne pose pas de *nouvelles* questions éthiques. Toutefois, au risque de faire une lapalissade, le fait de ne pas poser de questions éthiques nouvelles n'empêche pas que des questions éthiques se posent tout de même pour la nanomédecine. Celles-ci, par conséquent, méritent d'être revisitées.

Cette constatation nous amène à identifier quelques pistes de réflexion pour orienter d'éventuelles recherches sur la nanomédecine. Premièrement, nous avons identifié la gouvernance comme étant un enjeu éthique majeur soulevé par la nanomédecine : définir une gouvernance adéquate pour celle-ci (dialogue avec le public, etc.) semble être une voie de recherche plus pertinente que, par exemple, chercher à identifier de nouvelles questions éthiques soulevées par la nanomédecine. Actuellement, cela semble impossible, compte tenu de l'état encore naissant de ces technologies. Également, nous avons pu établir de nombreux parallèles entre la gouvernance appliquée dans le cas d'autres domaines technoscientifiques (clonage, eugénisme, etc.) qui mériteraient d'être explorés : peut-on importer des éléments issus de la gouvernance de ces autres technologies dans le champ de la nanomédecine?

Enfin, nous avons, lors de discussions autour de cette revue de littérature, identifié d'autres enjeux qui sembleraient dignes d'intérêt, notamment les problèmes globaux que pourrait soulever la nanomédecine. Il existe des technologies qui ont fait l'objet de déclarations universelles de la part de plusieurs pays (par exemple le clonage humain et la transplantation d'organes, qui font tous les deux l'objet de déclarations promulguées à l'UNESCO). Peut-on assurer une cohérence

⁴⁸ Abraxis Bioscience Canada Inc. *Monographie de produit : Pr ABRAXANE^{MD} pour suspension injectable*, 2011, récupéré le 18 avril 2012 de <http://webprod3.hc-sc.gc.ca/dpd-bdpp/item-iteme.do?pm-mp=00016053>

entre les différents pays du monde en matière de nanomédecine? Et comment? En recourant à des organismes comme l'UNESCO? Notre manière de définir la nanomédecine aurait-elle un impact crucial sur une éventuelle entente entre les pays du monde? En effet, si nous incluons l'optimisation des performances humaines dans la définition même de la nanomédecine, le débat sera sûrement plus difficile que si nous limitons la nanomédecine à de nouvelles manières d'effectuer ce que nous accomplissons déjà lors des activités médicales contemporaines.

Également, certains membres de l'équipe se sont intéressés à d'autres phénomènes qu'on peut classer aussi dans la catégorie des problèmes globaux. Depuis plusieurs années, nous faisons face à un « tourisme médical » bien connu (par exemple, des patients effectuent un court séjour dans d'autres pays pour recevoir un traitement interdit dans leur pays d'origine). Il existe aussi ce qu'on pourrait appeler un « tourisme de recherche » (par exemple, des chercheurs ou des doctorants vont vivre temporairement ou définitivement dans un autre pays où la gestion de la recherche est plus facile⁴⁹). Étant donné qu'il y a un manque de cohérence entre les législations des différents pays du monde en matière de nanotechnologies⁵⁰, un tourisme de recherche ou un tourisme médical problématique sur le plan éthique et concernant la nanomédecine pourrait-il s'installer? Comment éviter les conséquences néfastes de ce tourisme? Il y a, là aussi, matière à recherches.

Nous concluons avec une dernière remarque. Notre recension des questions éthiques soulevées par les nanotechnologies et la nanomédecine nous a permis de constater à nouveau que la réflexion éthique sur les nanotechnologies est *anticipée*. Si les nanotechnologies commencent déjà à se répandre, le gros de leurs applications arrivera sur le marché après 2015⁵¹, certaines applications extraordinaires n'étant pas attendues avant 2020.⁵² Anticiper dès maintenant toutes les questions éthiques que soulèveront ces applications est impensable. Toutefois, étant donné le potentiel que possèdent les nanotechnologies pour modifier radicalement nos sociétés, il est évident qu'un encadrement ou un « monitoring » en direct doit, *dès maintenant*, être mis en place. Cet encadrement rejoint, une fois de plus, la question de la gouvernance des

⁴⁹ J. Qiu, China : the gates are open, *Nature*, 2012, 481: 535-537.

⁵⁰ S. Desmoulin-Canselier et S. Lacour, « Le droit à l'épreuve des nanotechnologies (ou les nanotechnologies à l'épreuve du droit) ». Dans M. Lahmani et al. (Eds), *Les nanosciences; 4. Nanotoxicologie et nanoéthique*, Paris, Belin, 2009, pp. 547-564.

⁵¹ J. Genest et J. Beauvais, préc., note 2.

⁵² European Technology Platform (ETP), *Roadmaps in nanomedicine towards 2020*, 2009, récupéré le 18 avril 2012 de <http://www.etp-nanomedicine.eu/public/press-documents/publications/etpn-publications>

nanotechnologies. Ce dernier thème nous apparaît bel et bien comme étant prioritaire : une fois une gouvernance adéquate mise en place, il sera plus facile de surveiller les problèmes éthiques soulevés par les nanotechnologies lorsque ceux-ci se présenteront.

Remerciements

L'auteur remercie les personnes collaborant au projet dans le cadre duquel cette présentation se situe : Mme Thérèse Leroux, Mme Michèle Stanton-Jean, Mme Céline Lafontaine et M. Sébastien Richard. Ce projet est rendu possible grâce à une subvention du Réseau NE3LS, auquel nous voulons exprimer toute notre gratitude.