



B I S E

BULLETIN D'INFORMATION EN santé environnementale

INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC
VOLUME 17 NUMÉRO 5 SEPTEMBRE - OCTOBRE 2006



DANS CE NUMÉRO

NANOTECHNOLOGIES ET SANTÉ: QUE SAIT-ON DES RISQUES?

PUBLICATIONS 9

VENTILATION DES BÂTIMENTS D'HABITATION ET SANTÉ RESPIRATOIRE 9

AMALGAMES DENTAIRE CHEZ LES ENFANTS 9

SURVEILLANCE EN SANTÉ ENVIRONNEMENTALE 10

RADON DOMICILIAIRE 10

LA CONSOMMATION DE POISSON : DES CONSEILS PRATIQUES 11

TRIHALOMÉTHANES DANS L'EAU POTABLE 11

ADAPTATIONS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES . 12

NANOTECHNOLOGIES ET SANTÉ : QUE SAIT-ON DES RISQUES ?



PIERRE L. AUGER, MD FRCPC⁽¹⁾

En 1966, le roman fantastique d'Isaac Asimov relatait l'épopée d'une équipe médicale miniaturisée voyageant à travers le corps d'un scientifique malade afin d'y déloger un caillot de sang au cerveau. Plus près de nous, Michael Crichton, dans son récent roman à succès intitulé « Proie », décrit un monde ténébreux envahi par des robots meurtriers auto-reproducteurs constitués de nanostructures. Aujourd'hui, la réalité a sans aucun doute rattrapé et peut-être même dépassé ces fictions.

Plusieurs gouvernements s'apprentent d'ailleurs à investir dans ce champ d'activité en pleine expansion : plus

d'un milliard de dollars aux États-Unis¹, 600 millions pour l'Union européenne, 800 millions au Japon et 800 millions pour les autres pays industrialisés. Il s'agit d'un accroissement de 700 % depuis 1999². Les Français prévoient un marché international des nanotechnologies d'environ 1 000 milliards d'euros autour de 2010-2015³. Au Québec, plus de 140 millions de dollars ont été investis dans le domaine entre 2000 et 2005^(a). Selon la même source, d'ici 2015, les produits « nano » occuperont une part du marché de 100 milliards de dollars américains.

Si le sujet suscite beaucoup d'enthousiasme, particulièrement en science

⁽¹⁾ Direction régionale de santé publique, Agence de la santé et des services sociaux de la Capitale-Nationale, 2400, d'Estimauville, Québec (Québec) G1E 7G9. Téléphone: 418-666-7000, poste 321, télécopieur: 418-666-2776. Courriel: pierre.auger@ssss.gouv.qc.ca

^(a) www.mdeie.gouv.qc.ca/page/web/portail/science/Technologie/service.prt?svcid=PAGE_GENERIQUE_CATEGORIES40&IDDOC=42648



information



formation



recherche



coopération internationale

Québec



biomédicale, il soulève aussi des inquiétudes, principalement en ce qui a trait à la toxicité des nanomatériaux, à leurs effets à long terme sur la santé et à leurs impacts sur l'environnement^{4,5}. Les organismes internationaux sont nombreux à avoir produit des rapports à ce sujet au cours des dernières années. Le plus remarqué est probablement celui commandé par le gouvernement britannique à la *Royal Society* et à la *Royal Academy of Engineering* intitulé « Nanosciences and nanotechnologies-Opportunities and uncertainties⁶ ». Le National Institute for Occupational Health (NIOSH) et l'Environment Protection Agency (EPA) américain de même que le Health and Safety Executive (HSE) britannique et l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset)⁷ ont aussi produit des documents dressant l'état des connaissances sur le sujet. Notons que l'information sur les nanotechnologies ne semble pas avoir encore rejoint le grand public. Les données d'un récent sondage américain font d'ailleurs ressortir que le public en connaît peu sur le sujet, mais qu'il entrevoit avec un certain optimisme les améliorations technologiques, tout en accordant peu de confiance aux dirigeants d'entreprises industrielles dans leur volonté de minimiser les dangers⁸.

Le présent article se veut un exposé succinct des connaissances actuelles concernant les risques environnementaux et sanitaires associés à

l'utilisation des nanotechnologies. La gestion du risque et les nouveaux enjeux éthiques posés par ce domaine d'activité sont brièvement abordés dans une perspective de santé publique.

Que sont les nanotechnologies ?

Le terme *nanotechnologie* a été mentionné pour la première fois en 1974 par le physicien Norio Taiguchi à propos du développement prometteur de la miniaturisation dans le domaine manufacturier. Le champ de la nanotechnologie se définit comme le domaine multidisciplinaire qui concerne la conception et la fabrication, à l'échelle des atomes et des molécules, de structures moléculaires qui comportent au moins une dimension mesurant entre 1 et 100 nanomètres (nm)^(b), qui possèdent des propriétés physicochimiques particulières exploitables, et qui peuvent faire l'objet de manipulations et d'opérations de contrôle. La nanotechnologie vise à exploiter avantageusement les propriétés particulières que peuvent comporter les objets à l'échelle du nanomètre et qui sont la plupart du temps différentes de celles qu'ils présentent à l'échelle macroscopique^(c).

À titre comparatif, notons que sur une échelle nanométrique, un cheveu mesure 80 000 nm, un globule

rouge 7 000 nm, un virus 150 nm, une plaque nanisée de dioxyde de titane 3 nm, une chaîne d'ADN 2 nm de largeur, un nanotube de carbone à simple membrane 1,4 nm et un atome de 0,1 à 0,4 nm.

En pénétrant dans ce nouveau domaine, nous quittons le monde mécaniste et terre-à-terre newtonien pour traverser le miroir et nous retrouver dans un univers déroutant et complexe, régi par les lois de la physique quantique. En conséquence, lorsque l'étude de la matière est abordée dans ces dimensions, les propriétés des matériaux se transforment radicalement. Les noyaux des atomes étant plus près de la surface de ces corpuscules, leur conductivité électrique s'accélère, leur réactivité chimique s'active, leur sensibilité optique s'améliore et fait apparaître des changements et des variations de couleurs. Il s'opère donc des transformations inattendues des capacités mécaniques et magnétiques de chaque matériau.

Il est utile de rappeler que certaines de ces particules existent depuis déjà longtemps à l'état naturel, telles que les particules fines provenant de la combustion lors d'un feu de forêt ou résultant de l'activité humaine. Cependant, les progrès actuels en nanotechnologie présupposent de nouvelles stratégies développées en ingénierie pour permettre la fabrication de nanomatériaux, dont les deux principales sont :

^(b) Un nanomètre correspond à un milliardième de mètre (1 nm = 10⁻⁹ m)

^(c) http://w3.granddictionnaire.com/btml/fra/r_motclef/index1024_1.asp

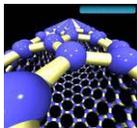


- **Le procédé par approche ascendante** (« bottom up ») : les particules sont assemblées atome par atome, molécule par molécule, en utilisant diverses techniques soit par synthèse chimique, auto- assemblage ou encore par montage par positionnement individuel.
- **Le procédé par approche descendante** (« top down ») : ce procédé vise à créer des nanoparticules par attrition des structures plus grandes, afin de les ramener à des dimensions nanoparticulaires.

Aperçu des applications actuelles et futures

Même si nous commençons à peine à comprendre les propriétés des particules et leur fonctionnement, il est intéressant de constater que certaines de leurs caractéristiques sont mises à profit depuis un certain temps déjà. Au X^e siècle par exemple, les artisans du verre et de la céramique utilisaient les propriétés de l'or et de l'argent pour créer différents tons et couleurs. Certaines applications des nanotechnologies font aujourd'hui partie de nos vies : nanolasers dans les lecteurs DVD, nanopuces pour le diagnostic médical, crèmes solaires à base d'oxyde de titane, rouge à lèvres à base d'oxyde de fer. Par ailleurs, les applications à venir sont multiples et parfois surprenantes (voir l'encadré).

Les procédés de transformation, tout comme les nanoparticules elles-mêmes, ne sont pas sans ris-



APPLICATIONS POSSIBLES OU PRÉVUES DES NANOTECHNOLOGIES¹¹

- **Industrie automobile et aéronautique** : matériaux renforcés plus légers, résistants et durables (pneus, peinture autonettoyante).
- **Industrie de l'électronique et des communications** : révolution de l'ordinateur quantique, vitesse accrue du traitement des données et du transport de l'information.
- **Industrie chimique** : catalyseurs plus performants, fluide magnétique pour lubrifiant.
- **Santé** : nouveaux systèmes de diffusion des médicaments, matériaux de remplacement biocompatibles, nanochirurgie, nanovésicules capables de détruire les cellules cancéreuses, kits de diagnostic en temps réel (« microarrays »).
- **Secteur manufacturier** : production de nouveaux microscopes et instruments de mesure plus précis, incorporation de nanopoudre dans des matériaux en vrac leur conférant des aptitudes de senseurs visant à détecter les bris imminents.
- **Secteur de l'énergie** : batterie de longue durée, photosynthèse artificielle permettant d'améliorer les cellules voltaïques qui transforment l'énergie solaire en énergie électrique, entreposage sécuritaire de l'hydrogène, futur agent propulseur des véhicules.
- **Secteur de l'aéronautique** : engins spatiaux plus légers, système robotique miniaturisé.
- **Environnement** : membranes siliciques pouvant mieux filtrer les contaminants ou le sel de mer, utilisation de nanoparticules de fer pour réduire certains polluants, nanosenseurs permettant de détecter en temps réel des produits toxiques dans différents milieux, nanoréacteurs à effet bactéricide pour le traitement de l'eau.
- **Secteur militaire** : détecteurs d'agents chimiques et biologiques, textiles légers, barrières thermiques améliorées, tissus avec régulation de l'humidité, tissus auto-réparateurs.

que. Toutefois, l'analyse des risques potentiels est en émergence, à l'image de ce secteur de recherche et de développement. À ce

jour, l'examen des risques concerne deux aspects principaux : les risques à l'environnement et ceux reliés à la santé humaine.



LES NANOTECHNOLOGIES AU CANADA ET AU QUÉBEC

Au Canada, le gouvernement fédéral s'est doté d'un plan national de développement en nanotechnologie. Un centre de recherche consacré spécifiquement aux particules est actuellement en construction à Edmonton. Le Québec n'est pas en reste. À la suite de la publication du rapport Lebeau en 2001, le Conseil de la science et de la technologie soutient maintenant l'initiative « NanoQuébec » afin de favoriser le développement et la recherche dans ce domaine prometteur de l'industrie. Par ailleurs, un groupe de scientifiques de l'Institut de Recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité du travail (IRSST) a publié en février 2006 deux rapports qui évaluent les risques des nanotechnologies en milieu de travail^{9,10}. Les documents sont disponibles sur le site Web de l'organisme (www.irsst.qc.ca).

Impacts potentiels sur l'environnement

Les connaissances sur les impacts des nanoparticules sur l'environnement sont encore à l'état embryonnaire. Cependant, depuis le 2 décembre 2005, le US Environmental Protection Agency (USEPA) a rendu disponible sur son site Web un document de travail pour consultation publique¹¹. Celui-ci passe en revue les principes de base de cette nouvelle technologie. Il recense aussi les impacts positifs pouvant découler de ces nouvelles applications dans le champ de l'environnement, soit :

- les possibilités de neutralisation de molécules nocives pour l'environnement (par ex. les gaz à effet de serre);
- la création de microsenseurs et de capteurs environnementaux;
- la possibilité de procédés industriels moins polluants;

- des sources d'énergie moins dispendieuses, plus écologiques, des nouvelles générations de piles;
- des procédés de stérilisation et de décontamination de l'eau plus performants¹².

Par ailleurs, les auteurs attirent l'attention sur les nombreuses lacunes dans les connaissances en ce qui a trait au devenir des nanoparticules dans l'environnement lui-même, que ce soit au niveau de la mesure des quantités rejetées, de leur distribution, des lieux d'accumulation, des conditions de persistance ou de dégradabilité. De façon plus spécifique, le comportement environnemental de ces particules soulève des inquiétudes particulières dans les milieux suivants:

- **Dans l'air** : le devenir des nanoparticules dans l'atmosphère varie en fonction de la nature physico-chimique et de sa réactivité chimique. Il semble exister des différences dans le temps de

résidence en milieu atmosphérique selon qu'il s'agisse de nanoparticules d'origine naturelle ou de synthèse. Toutefois, les incertitudes dans ce domaine demeurent importantes¹³.

- **Dans les sols** : les observations disponibles à l'heure actuelle laissent supposer que les particules auraient tendance à s'immobiliser rapidement. L'hypothèse selon laquelle elles auraient un potentiel d'infiltration dans les interstices des molécules humiques n'est cependant pas écartée. Il n'existe par ailleurs aucune étude sur la persistance des nanoparticules dans les sols⁷.
- **Dans l'eau** : il est possible de retrouver des nanoparticules dans les eaux de surface soit par ruissellement et par lessivage de sols contaminés. La voie atmosphérique ou la survenue d'un déversement accidentel peuvent aussi contribuer à leur présence dans l'eau. D'après les connaissances actuelles, la persistance et la mobilité des nanoparticules dans l'eau pourraient être variables⁷.

Un des problèmes majeurs dans l'évaluation des risques associés à la présence de nanoparticules dans l'environnement est l'extrême difficulté associée à la mesure exacte (métrologie) des nanoparticules. Traditionnellement, on utilise la masse (ex. mg/m³) ou le nombre pour quantifier les particules. Il est très clair que dans le domaine des nanoparticules, ces seules dimensions ne suffisent plus. L'appréciation de la dimension et



de l'étendue surfacique des nanoparticules est maintenant essentielle dans le processus d'évaluation de l'exposition aux nanoparticules et des risques à la santé qui en découlent. Cependant, les instruments pour y parvenir (« épiphaniomètre », analyseur BET ou SEM/TEM) s'avèrent dispendieux, utilisés uniquement en laboratoire, lourds et encombrants pour un usage sur le terrain. De plus, il peut être difficile de distinguer l'origine des nanoparticules (naturelle ou anthropogénique) ou encore d'effectuer la mesure en temps réel. Enfin, les contrôles de qualité inter-laboratoires sont inexistant. Ces aspects, auxquels s'ajoute l'absence de substances étalon fiables, rendent la comparaison entre les résultats de différents laboratoires laborieuse. Cette situation pourrait toutefois changer dans l'avenir, compte tenu de certaines avancées, telles que celle réalisée par une équipe de chercheurs américains, qui a réussi à mettre au point un appareil portable permettant de mesurer les particules ultra-fines (PUF) dans les milieux intérieurs.

Risques potentiels pour la santé ^{2, 3, 4, 7, 10, 14, 15, 16, 17}

Il n'existe à l'heure actuelle aucune étude épidémiologique portant sur l'exposition de la population générale aux nanoparticules, ce qui se traduit par l'absence de valeurs limites d'exposition établies pour cette même population. Certaines études disponibles permettent toutefois de mettre en évidence

quelques facteurs pouvant influencer les effets toxicologiques potentiels associés particulièrement aux propriétés physico-chimiques des nanoparticules⁷. Il s'agit de la taille, de l'aire et de la réactivité de la surface, du nombre de particules, de la composition chimique, de la forme, de la solubilité et de la capacité à former des agrégats, du traitement de surface et de la structure^{7,8}. Les études expérimentales réalisées *in vitro* et chez des rongeurs, de même que les travaux épidémiologiques entrepris sur les particules ultra-fines nous permettent d'entrevoir les éventuelles conséquences de l'exposition à ces matières sur la santé humaine. Ainsi, très peu de données quantitatives existent pour la population potentiellement exposée. Les risques en milieu de travail, résultant de la manipulation ou de l'usinage des nanomatériaux, semblent davantage documentés.

L'état des connaissances sur les risques potentiels est abordé à partir des différentes voies d'exposition habituelles, soit les voies pulmonaire, cutanée et gastro-intestinale.

Voie pulmonaire

Les études épidémiologiques réalisées dans le domaine de la recherche sur les effets des particules ultra-fines nous renseignent sur leurs propriétés et sur leurs impacts sur la santé. Selon les résultats de ces études, il est plausible de croire que les particules nanométriques puissent exacerber les maladies cardiaques

voire même provoquer des décès^{18,19} chez les personnes vulnérables, aggraver des symptômes d'asthme²⁰ ou des maladies pulmonaires chroniques et évoluer éventuellement vers le cancer pulmonaire¹⁶.

Les études réalisées en laboratoire établissent de façon convaincante que plusieurs particules, pourtant considérées inertes par le passé, peuvent voir leur potentiel toxicologique se transformer radicalement lorsqu'elles entrent en contact avec des nanoparticules. Plusieurs études *in vitro* effectuées sur des macrophages ou sur des cellules pulmonaires ont démontré qu'une exposition à des nanoparticules de dioxyde de titane de 70 nm de diamètre et de zinc de 5 à 30 nm de diamètre (considérées habituellement peu toxiques), entraînait une réaction inflammatoire inattendue. Cette réaction était de plus caractérisée par la production de plusieurs molécules pro-inflammatoires²¹. Les études effectuées chez les rats de laboratoire ont clairement établi que la réactivité inflammatoire surfacique de l'oxyde de titane (TiO_2) au niveau des tissus pulmonaires conduisait au cancer du poumon²².

D'autres études menées en laboratoire auraient permis d'observer des thromboses artériolaires à la suite de l'inhalation de nanoparticules sphériques de polymère de styrène de 50 à 100 nm. Ces résultats expérimentaux pourraient expliquer la morbidité, tant pulmonaire que cardiaque, décelée dans les études épidémiologiques



sur les particules ultra-fines décrites précédemment. Par ailleurs, en 1983, des lésions pulmonaires ont été décrites chez des travailleurs affectés à l'emballage de nourriture à la suite d'une exposition aux fumées de polytétrafluorure d'éthylène (PTFE). Ces travailleurs présentaient des symptômes semblables à ceux de la fièvre de la fumée de polymère fluoré (*PTFE fever*).

L'importance de la surface des particules

À la suite d'observations récentes chez le rat, des chercheurs concluent que les nanotubes de carbone sont plus cytotoxiques que la silice, substance généralement reconnue comme très néfaste pour les poumons²³. La réactivité oxydative est en relation directe avec l'importance de la surface de la particule. En d'autres termes, plus la particule est petite, plus sa surface est grande par rapport à sa masse, et plus elle devient réactive en regard des tissus avec lesquels elle entre en contact (Tableau 1).

Il semble par ailleurs possible d'établir une analogie entre ces dernières recherches et celles effectuées sur des substances jugées dangereuses pour la santé, telles

que l'amiante et le quartz. Il est maintenant bien connu que l'inhalation de fibres d'amiante et de cristaux de quartz est à l'origine de plusieurs maladies pulmonaires comme les pneumoconioses et le cancer. En ce qui concerne l'amiante, son caractère toxico-pathologique tient plus particulièrement à la conformation allongée de la fibre et à sa réactivité chimique. Ainsi, plus le rapport longueur-diamètre est élevé, plus la particule produit des dommages à l'architecture pulmonaire. Or, plusieurs nanoparticules carbonées possèdent cette même forme allongée.

Mécanismes de déposition et de protection pulmonaire

Les mécanismes habituellement invoqués pour expliquer les phénomènes de déposition pulmonaire, à savoir l'impaction au niveau des embranchements pulmonaires, l'inertie et la gravité au niveau des bronches, des bronchioles et des alvéoles sont inopérants dans le cas spécifique des nanoparticules, puisque celles-ci sont régies par le mouvement brownien. Par exemple, des particules de 5 nm se déposeront dans une proportion égale au niveau du rhinopharynx,

des bronches, des bronchioles et des alvéoles pulmonaires, alors que celles de 20 nm se logeront préférentiellement sur les surfaces alvéolaires. Le mécanisme de protection traditionnel du système pulmonaire consiste à capter les particules à l'aide des macrophages pulmonaires qui, par un « effet escalier », remonteront ces dernières au niveau du pharynx, où elles seront éjectées lors de la toux ou encore ingérées. Ce mécanisme de protection est toutefois peu efficace contre les nanoparticules. Les expériences de laboratoire semblent plutôt montrer que ces dernières s'infiltreront entre les cellules ou encore pénétreront par les vacuoles endocytosiques dénommées cavéoles cellulaires, qui possèdent une propriété d'expansion lors des cycles respiratoires favorisant ainsi le déplacement des particules à travers les barrières cellulaires des poumons pour enfin atteindre le sang capillaire.

De plus, tout comme pour les virus, ces particules peuvent atteindre le cerveau et le système nerveux par les nerfs périphériques (nerfs olfactifs, nerf trijumeau, etc.) étant donné que leurs fibres innervent les récepteurs des muqueuses nasales et bronchiques. Une fois ces frontières franchies, les nanoparticules adhéreront aux plaquettes sanguines et aux protéines sériques, puis atteindront le foie, les reins, le cœur et même la moelle osseuse et les organes lymphoïdes. Les particules pourront même traverser la membrane placentaire, sans que l'on en

Tableau 1. Relation entre la masse volumique, le diamètre, la concentration et l'aire surfacique des nanoparticules

Masse volumique (µg/m ³)	Diamètre (µm)	Concentration (Nb particules/ml d'air)	Aire surfacique (µm ² /ml d'air)
10	2	1,2	24
10	0,5	153	120
10	0,02	2 400 000	3 016

Traduit et adapté de Donaldson K. *et al.*²⁴



connaisse les effets, à court comme à long terme, sur les différents organes et le fœtus.

Voie cutanée

Il existe des données probantes à l'effet qu'une fois déposées sur la peau, les nanoparticules peuvent emprunter la voie des terminaisons nerveuses ou encore celle des follicules pileux. L'absorption dermique constitue une notion importante à considérer puisque certains produits pour la peau (produits de beauté ou de soins) actuellement disponibles pour les consommateurs contiennent des nanoparticules. Notons, à titre d'exemple, certaines crèmes solaires, auxquelles sont incorporées des nanoparticules de dioxyde de titane (TiO_2). Même si les premières expériences ne semblaient pas démontrer que ces particules traversaient l'épiderme, il a été observé depuis que les puits quantiques injectés dans le derme pouvaient en fait être véhiculés jusqu'aux ganglions régionaux. Enfin, des études récentes ont montré que des nanotubes multicouches pouvaient se retrouver à l'intérieur de kératinocytes (cellules de la peau produisant la kératine) et causer une réaction inflammatoire secondaire²⁵.

Voie gastro-intestinale

À l'heure actuelle, le tractus gastro-intestinal a été documenté comme voie de pénétration des nanoparticules à partir d'études sur l'absorption des médicaments

nanisés. Ces études ont montré l'importance de la taille et de la charge électrique pour la pénétration des nanoparticules¹⁶. Les particules chargées positivement se retrouvent piégées dans le mucus, ce dernier étant chargé négativement. Par exemple, les particules de 14 nm de diamètre traversent la couche de mucus en deux minutes, celles de 415 nm en trente minutes, tandis que celles de 1 000 nm de diamètre sont complètement bloquées. Les nanoparticules sont par la suite excrétées rapidement dans les urines et les fèces, ou se retrouvent dans le sang pour être ultérieurement dirigées vers le foie ou d'autres organes.

Éthique et gestion du risque

L'utilisation de nanotechnologies prête le flan à des débats sociaux et politiques. Certains se font les défenseurs inconditionnels de cette nouvelle industrie qui pourrait selon eux, faire disparaître la pauvreté à la surface de la terre. D'autres, à l'inverse, réclament des mesures draconiennes pour contrer les risques de cette innovation. L'imposition d'un moratoire a d'ailleurs été revendiquée par différents organismes de défense de l'environnement²⁶.

Par ailleurs, à l'instar des craintes suscitées dans la population par l'arrivée des organismes génétiquement modifiés (OGM), plusieurs organismes internationaux se questionnent sur l'impact et sur l'éthique de l'instauration de la nanotechnologie. Le docu-

ment produit par la *Royal Society* et la *Royal Academy of Engineering*⁶ porte sur ces innovations et se penche aussi sur les enjeux et les préoccupations éthiques et du public soulevés par une telle technologie. Le rapport entre les bénéfices et les conséquences potentiellement négatives tant du point de vue humain qu'environnemental est questionné. De plus, les auteurs émettent des craintes au sujet de possibles atteintes aux libertés civiles dans le cas d'une utilisation malveillante de cette nouvelle technologie. Ils citent entre autres le domaine de l'écoute électronique et le domaine militaire, notamment de nouvelles armes chimiques indétectables, pouvant être dirigées spécifiquement vers des organes sensibles du corps humain, comme le cerveau ou le cœur. Ce document suggère par conséquent l'application du principe de précaution.

Cette conclusion pourrait orienter la gestion des risques dans ce domaine. À ce chapitre, la Commission européenne de la protection de la santé communautaire et de la consommation (*European Commission-Community Health and Consumer Protection*) a convoqué à Bruxelles en mars 2004 un groupe d'experts. Ceux-ci ont établi cinq voies de gestion des risques au regard des nanotechnologies²⁷.

L'évaluation des différentes options a conduit ces experts à adopter un processus itératif qui intègre une démarche d'atténuation du risque



accompagnée de la mise en place d'une structure de consultation permanente entre les scientifiques, les industriels et les consommateurs.

Le Québec n'est pas en reste quant à ces préoccupations éthiques et la Commission de l'éthique, de la science et de la technologie diffusera en novembre prochain son avis intitulé *Éthique et nanotechnologies : se donner les moyens d'agir* préparé à l'intention du gouvernement québécois. Des préoccupations d'ordre éthique y seront identifiées en matière de santé humaine (population générale et travailleurs), en matière d'environnement, de sécurité (militaire et civile) ainsi que celles plus générales, concernant la question de la convergence des connaissances et des technologies. Finalement, des préoccupations éthiques non exclusives aux nanotechnologies (lien avec la gouvernance, l'activité économique générée, la citoyenneté et l'innovation) seront abordées.

En conclusion, l'utilisation des nanotechnologies est en plein essor dans le monde industrialisé, plusieurs pays investissant des sommes d'argent colossales dans ce champ d'activité. Les secteurs potentiels d'application des nanotechnologies sont énormes et d'une portée sans précédent. De nombreux organismes internationaux ont débuté leur réflexion sur le sujet et plusieurs rapports sur les impacts ont été produits à l'heure actuelle. Cependant, les connaissances sur les impacts des nanotechnologies sur

l'environnement et la santé demeurent très parcellaires. Des efforts importants sur ces aspects devront être consentis afin de combler les lacunes.

Références

1. National Nanotechnology Initiative NNI; www.nano.gov.
2. Biswas P., Wu C.Y. « Nanoparticles and the environment-critical review » *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 2005; 55, 708-46.
3. Agence nationale à la recherche. République française « Santé-environnement et santé-travail, nouvelles perspectives de recherches – Document d'orientation scientifique » 31 mars et 1^{er} avril 2005. www.recherche.gouv.fr/discours/2005/progseminaire.pdf.
4. Nel A, Xia T., Lutz M., Ning L. « Toxic Potential of materials at the Nanolevel ». *Science* 2006; 311; 622-27.
5. Site officiel de l'Union Européenne, www.nanosafe.org/.
6. Anonym « Nanosciences and nanotechnologies-Opportunities and uncertainties » The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, 2004. Disponible en ligne aux deux sites suivants : www.royalsoc.ac.uk/policy; www.raeng.org.uk.
7. Agence Française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail « Les nanomatériaux : les effets sur la santé de l'homme et de l'environnement » Juillet 2006, 231 p. www.afsset.fr/upload/bibliotheque/367611898456453755693572842048/nanomateriaux.pdf.
8. Hampton, T. « Researchers Size up Nanotechnology Risks » *JAMA*, 2005; 294,1881-3.
9. Ostiguy C., Lapointe G., Ménard L., Trottier M., Bouin M., Anton, Normand C. « Les nanoparticules : Connaissances actuelles sur les risques et les mesures de prévention en santé et en sécurité du travail » 2006, pp1-79. www.irsst.qc.ca sous l'onglet recherche.
10. Ostiguy C., Lapointe G., Ménard L., Trottier M., Boutin M., Antoun, Normand C. « Les effets à la santé reliés aux nanoparticules » 2006, pp1- 47. www.irsst.qc.ca sous l'onglet recherche.
11. US Environmental Protection Agency « External Review Draft-Nanotechnology White Paper » Prepared for the USEPA by members of the Nanotechnology Workgroup, a group of EPA's Science policy Council December 2, 2005. www.epa.gov/osa/pdfs/EPA_nanotechnology_white_paper_external_review_draft_12-02-2005.pdf.
12. Obare S.O., Meyer G.J. « Nanostructured Materials for Environmental Remediation of Organic Contaminants in Water » J. Environ. Science Health Part A –Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering 2004, Vol. A39 :2549-82.
13. Keady P.B., Halvorsen T. « A new tool for eliminating indoor air quality complaints »

- J. of Nanoparticles research* 2000 :2:205-08.
14. Anonyme « Approaches to safe nanotechnology-an information exchange with NIOSH-DRAFT (9-30-05) » National Institute for Occupational Safety and Health, Centers for disease Control and prevention, October 1, 2005 www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/nano_exchange.html.
 15. Oberdörster G., Oberdörster E., Oberdörster J. « Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles » 2005, 113:823-39. Disponible en ligne <http://dx.doi.org/doi:10.1289/ehp.7339>
 16. Service R. « Nanotechnology grows up » *Science*, 2004;304 : 1732-34.
 17. Seaton A., Donaldson K. « Nanoscience, nanotoxicology and the need to think small » *The Lancet*, 2005;365:923-4.
 18. Englert N. « Fine particles and human health- a review of epidemiological studies » *Toxicology Letters*, 2004;149:245-2.
 19. Schultz H., Harder V., Ibalid-Mulli A., et coll. « Cardiovascular effects of fine and ultrafine particles » *J. Aerosol Medicine*, 2005;18:1-22.
 20. Pekkanen J., Timonen K.L., Ruuskanen J., Reponen A., Mirme A. « Effects of Ultrafine and Fine Particles in Urban Air on Peak Expiratory Flow among Children with Asthmatic Symptoms » *Environmental Research*, 1997;74:24-33.
 21. Lanone S., Boczkowski J., « Effets des nanomatériaux sur la santé Environnement » *Risques & Santé*, 2005 ; 4 :405-9.
 22. Anonym « NIOSH Current Intelligence Bulletin : Evaluation of Health Hazard and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide-DRAFT » www.cdc.gov/niosh/docs/preprint/tio2/pdfs/TIO2Draft.pdf.
 23. Lam CW, James JT, McCluskey RM, Arepalli S, Hunter RL « A review of Carbon Nanotube Toxicity and Assessment of Potential Occupational and Environmental Health Risks » *Critical Reviews in Toxicology*, 2006; 36: 189-217.
 24. Donaldson K., Stone V., Clouter A., Renwick L., Macnee W. « Ultrafine particles » *Occ Env Med*, 2001; 58:211-6.
 25. Monteiro-Riviere N, Nemanich R., Inman A, Yunyu Y., Riviere J. « Multi-walled carbon nanotubes interactions with human epidermal keratinocytes » *Toxicology Letters*, 2005;155: 377-84.
 26. ETC group report « NanoGeopolitics – ETC Group Surveys the Political Landscape Action Group on Erosion, Technology, and Concentration July/August 2005. www.etcgroup.org/documents/Com89SpecialNanoPoliticsJul05ENG.pdf.
 27. European Commission-Community Health and Consumer Protection « Nanotechnologies: A Preliminary Risk Analysis on the Basis of a Workshop Organized in Brussels on 1-2 March 2004 by the Health and Consumer Protection Directorate » General of the European Commission 2004 pp 1-143. http://ec.europa.eu/health/ph_risk/documents/ev_20040301_en.pdf.



PUBLICATIONS

Ventilation des bâtiments d'habitation et santé respiratoire

Au Québec, l'uniformisation des exigences en matière de ventilation dans les nouvelles habitations est un enjeu faisant l'objet d'une réflexion à l'échelle provinciale. À l'heure actuelle, les taux de ventilation prescrits pour les bâtiments d'habitation sont basés sur la prévention des problèmes d'inconfort reliés aux odeurs et non pas sur la prévention des problèmes de santé, et traduisent également des préoccupations d'économie d'énergie. Alors que le taux de renouvellement d'air à l'heure (rah) recommandé par les normes se situe maintenant autour de 0,35 en Amérique du Nord, voire même à 0,3 au Canada, celui prescrit dans les pays scandinaves avoisine toujours les 0,5 rah.

À partir des connaissances scientifiques les plus récentes sur le sujet, Pierre Lajoie, Jean-Marc Leclerc et Marion Schnebelen de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), ont réalisé un avis scientifique ayant pour principal objectif de permettre aux autorités concernées de se prononcer sur les mesures à adopter en matière de ventilation des habitations au Québec, sur la base de ses impacts sur la santé respiratoire des occupants. Pour ce faire, ils ont développé un modèle conceptuel

explicatif pour l'identification et l'analyse des études pertinentes sur la base de l'histoire naturelle des allergies et des symptômes respiratoires. Ils ont ensuite examiné les études sur les liens directs de même que celles sur les liens indirects, associées à trois groupes de contaminants de l'air intérieur, soit les acariens, les moisissures et les composés organiques volatils. Au total, 75 études correspondaient aux critères d'inclusion, que les auteurs ont par la suite classées selon la qualité de la preuve. En plus d'émettre plusieurs constats et recommandations, les auteurs soulignent qu'il subsiste des lacunes importantes quant à la connaissance des impacts de la ventilation sur la santé respiratoire dans les pays autres que scandinaves. Il est possible de télécharger le document intitulé *La ventilation des bâtiments d'habitation : impacts sur la santé respiratoire des occupants* sur le site Web de l'INSPQ (www.inspq.qc.ca), à la rubrique Publications. [JML]

Amalgames dentaires chez les enfants

Les effets associés aux vapeurs dégagées par les amalgames dentaires représentent une question qui suscite toujours de l'intérêt, qui plus est, quand il s'agit de la santé des enfants. Une équipe de recherche américaine vient de faire paraître les résultats d'une étude portant

sur une comparaison des effets sur la fonction neuropsychologique associée à l'exposition à deux types de restauration, soit les amalgames traditionnels et les composites sans mercure (Bellinger *et al.* Dental Amalgam Restorations and Children's Neuropsychological Function : The New England Children's Amalgam Trial, *Environ H Perspect* disponible en ligne: www.ehponline.org/members/2006/9497/9497.pdf). Le groupe ciblé par l'étude randomisée était constitué d'enfants âgés de 5 à 10 ans n'ayant subi aucune restauration dentaire et habitant la ville de Boston et une région rurale du Maine. Une batterie de tests couvrant, entre autres, la mesure de l'intelligence, le langage, la mémoire, l'apprentissage, l'attention, les habiletés visuelles et spatiales, la résolution de problèmes et la motricité fine a été administrée à 534 enfants participants. Les enfants recrutés ont été classés aléatoirement en deux groupes de traitement (amalgame ou composite). Au cours des années de l'étude, les enfants ont fait l'objet d'examen dentaires deux fois par année et de traitements dentaires au besoin. Des prélèvements d'urine ont été effectués une fois l'an afin d'analyser le mercure élémentaire. Quant aux tests neuropsychologiques, outre l'examen de base effectué avant le début de l'étude, différents tests ont été entrepris à partir d'un calendrier



de rencontres pré-établi. Les observations révèlent que malgré une différence de concentration de mercure urinaire entre les deux groupes d'enfants (0,9 et 0,6 $\mu\text{g/g}$ de créatinine), les résultats des tests neuropsychologiques démontrent peu de différences. Les analyses supplémentaires utilisant des indices d'exposition cumulative chez les enfants (surface des amalgames et concentration de mercure urinaire) ont conduit aux mêmes résultats. [CL]

Surveillance en santé environnementale

Le Bulletin épidémiologique hebdomadaire (BEH) de l'Institut de veille sanitaire en France (InVS) a consacré son numéro du 24 octobre dernier à la thématique de la surveillance de la santé au Québec. Ce numéro a été spécialement préparé en vue des *Journées annuelles de santé publique* (Montréal, 2006), avec la collaboration de Mme Danielle Saint-Laurent et du Dr Marc Dionne de l'Institut national de santé publique (INSPQ). Deux articles de ce numéro spécial concernent davantage la santé environnementale, soit celui traitant d'un système de surveillance des maladies à déclaration obligatoire attribuables à des agents chimiques ou physiques ainsi que celui faisant état de la surveillance de l'infection par le virus du Nil occidental (VNO) au cours des années 2003 à 2006.

En ce qui concerne le premier article, les auteurs, Germain Lebel et Magalie Canuel, précisent que

le système d'information est accessible à partir d'un site Web. Il permet de saisir et d'enregistrer les déclarations des maladies à déclaration obligatoire d'origine chimique. L'interface de saisie comprend une aide en ligne, plusieurs validations des données, l'identification des doublons, la déclaration électronique des laboratoires, etc. Ses principales composantes sont l'interface de saisie des déclarations, le module de gestion des déclarations et les produits de surveillance. Cette dernière composante sera d'ailleurs déployée prochainement. Une évaluation de la satisfaction des utilisateurs est recommandée par les auteurs.

Dans le deuxième article, Germain Lebel et Pierre Gosselin rappellent que l'INSPQ a reçu en 2003 le mandat de développer un système d'information permettant la consultation et l'analyse en temps quasi réel des données de surveillance de l'infection par le VNO chez les humains, les animaux (oiseaux et autres animaux), ainsi que chez les moustiques. Dans cet article, les auteurs présentent les principales composantes du système d'information pour la saison de surveillance 2005. Trois composantes distinctes du système intégré des données de vigie sanitaire du VNO sont identifiées, soit : le site Web, l'outil d'aide à la localisation géographique et l'outil d'affichage cartographique. Fait intéressant, le concept développé peut être appliqué à plusieurs épizooties ainsi

qu'à différents problèmes de santé publique en émergence, tels que la grippe aviaire, par exemple. L'évaluation de ce système d'information, à la fin de la première année de fonctionnement, a fait ressortir que les utilisateurs appréciaient grandement le système. Le BEH est disponible en ligne, à l'adresse www.invs.sante.fr/beh/index.html. [JML]

Radon domiciliaire

Le Réseau canadien de la santé (RCS) de l'Agence de santé publique du Canada, par le biais de son affilié Environnement et Santé*, a produit et mis en ligne un document électronique sur la problématique du radon domiciliaire**. Le site, qui s'adresse au grand public, brosse un portrait global de la situation en faisant notamment état de la façon dont le radon s'infiltré dans les maisons, des effets qu'il peut avoir sur la santé, de la façon de le mesurer et des mesures pouvant être adoptées pour en réduire les risques. En ce qui concerne la ligne directrice, l'article fait mention de la proposition de Santé Canada d'abaisser la norme actuelle de 800 à 200 becquerels par mètre cube (Bq/m^3). Quelques hyperliens s'y retrouvent et acheminent le lecteur vers de

* L'affilié Environnement et Santé du RCS est le Centre collaborateur OMS-OPS en santé environnementale (Centre hospitalier universitaire de Québec, Institut national de santé publique du Québec, Direction de santé publique de la Capitale-Nationale).

** www.canadian-health-net-work.ca/servlet/ContentServer?cid=1158426837037&pagename=CHN-RCS/CHNResource/CHNResourcePageTemplate&c=CHNResource.



l'information connexe provenant de Santé Canada ou encore vers d'autres organismes fédéraux tels que la Société canadienne du cancer ou la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL). Comme lecture complémentaire, les concepteurs proposent de consulter le document intitulé *Le radon : guide à l'usage des propriétaires canadiens*, publié par la SCHL. [JML]

La consommation de poisson: des conseils pratiques

Depuis quelques années, le public et les scientifiques sont inondés d'articles qui portent soit sur les risques associés à la consommation de poisson (en raison de la présence de contaminants chimiques), soit sur ses bienfaits (compte tenu notamment du contenu en acides gras oméga-3). Difficile de s'y retrouver... Dans la chronique destinée aux cliniciens publiée dans le *Journal of the American Medical Association*, Mozaffarian et Rimm tentent de dissiper la confusion entraînée par tant de recherches aboutissant à des résultats souvent contradictoires ou controversés (« Fish Intake, Contaminants, and Human Health, Evaluating the Risks and the Benefits, *JAMA* 2006, October 18 (15) : 1885-99). Pour ce faire, les auteurs ont effectué une recherche dans les écrits scientifiques, les rapports gouvernementaux, les méta-analyses et les références directement obtenues de chercheurs jusqu'en avril 2006. Les documents sélectionnés

devaient porter sur: 1) l'association entre la consommation de poisson (et fruits de mer) ou d'huile de poisson et le risque cardiovasculaire, 2) les effets du méthylmercure et des huiles de poisson sur le neurodéveloppement, 3) l'association entre l'exposition au méthylmercure et la maladie cardiovasculaire ou neurologique chez l'adulte exposé ou 4) les risques à la santé associés à l'exposition aux dioxines et aux BPC par la consommation de poisson. S'étant basés sur la force des évidences scientifiques et sur la magnitude des effets mesurés, les auteurs concluent qu'une consommation de un à deux repas par semaine apporte davantage de bénéfices pour la santé que de risques potentiels. Cette consommation de poisson ou de fruits de mer, en particulier ceux contenant des acides gras de type DHA et EPA, réduirait le risque de décès cardiovasculaire de 36 % et la mortalité totale de 17 %. Les auteurs estiment que le DHA affecte de manière positive le développement de l'enfant alors que de faibles niveaux de mercure provoqueraient l'effet inverse. Les femmes en âge de procréer et celles qui allaitent peuvent consommer deux repas de poisson par semaine, à condition de choisir certaines espèces moins contaminées. Les individus dont le nombre de repas de poisson est plus grand que cinq, devraient quant à eux, orienter leur consommation vers des espèces à faible concentration de méthylmercure. Quant aux dioxines et aux BPC, dont la

concentration dans le poisson est faible, les auteurs mentionnent que les bénéfices potentiels sont considérés supérieurs aux effets négatifs (cancérogènes ou autres). Les femmes en âge de procréer devraient cependant vérifier s'il existe des recommandations de santé publique en vigueur sur une base locale. [CL]

Trihalométhanes dans l'eau potable

Les « trihalométhanes » (THM) sont un groupe de substances chimiques qui se forment lorsque le chlore utilisé pour la désinfection de l'eau réagit avec la matière organique d'origine naturelle présente dans l'eau. Selon les évaluations scientifiques disponibles, la présence d'une quantité élevée de THM dans l'eau potable pourrait conduire à une augmentation du cancer de la vessie. Par ailleurs, des études portant sur le lien entre l'exposition *in utero* aux THM par l'eau potable et le poids du nouveau-né n'ont pas démontré de résultats concluants. Afin de sensibiliser le public qui réside dans les municipalités où les niveaux de THM sont supérieurs au niveau recommandé pour la protection de la santé, le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) a préparé un dépliant qui explique l'origine des THM dans l'eau potable, les situations susceptibles d'entraîner une exposition, leurs effets possibles sur la santé et les précautions à prendre pour réduire l'importance de l'exposition. Le dépliant est fourni aux



municipalités concernées par les directions de santé publique. Il peut aussi être téléchargé sur le site Web du MSSS à l'adresse : <http://publications.msss.gouv.qc.ca/acrobat/f/documentation/2006/06-239-01.pdf>. [CL]

Adaptations aux changements climatiques

L'Institut national de santé publique publie une série de feuillets et de rapports de recherche concernant le thème des changements climatiques et la santé. Les quatre feuillets, préparés par Mélissa Giguère et Pierre Gosselin, portent sur l'examen des initiatives actuelles d'adaptation au Québec, plus particulièrement sur les thèmes suivants:

- Eau et santé;
- Maladies zoonotiques et à transmission vectorielle;
- Vagues de chaleur, îlot thermique urbain et santé;
- Événements climatiques extrêmes et santé.

Deux des quatre rapports de recherche (voir références ci-après) abordent la question des comportements actuels de la population lors de vagues de froid et de chaleur ainsi que des suggestions de mesures à mettre en place afin de favoriser le maintien de la santé de la population dans l'avenir. Les questionnaires de la santé et ceux du milieu municipal ont également été consultés quant à leurs préoccupations et leurs perceptions à propos des changements climatiques et aux mesures d'adaptation associées. Les résultats de cette consultation font l'objet du troisième rapport. Quant au dernier rapport, il examine l'effet du climat sur la mortalité, à partir de données historiques (1981 à 1999) ou de simulation pour l'avenir.

- *Vagues de chaleur au Québec méridional : adaptations actuelles et suggestions d'adaptations futures*, D. Bélanger, P. Gosselin, P. Valois, B. Abdous, Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, 2006.

- *Vagues de froid au Québec méridional : adaptations actuelles et suggestions d'adaptations futures*, D. Bélanger, P. Gosselin, P. Valois, B. Abdous, Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, 2006.

- *Changements climatiques au Québec méridional : perceptions des gestionnaires municipaux et de la santé publique*, D. Bélanger, P. Gosselin, P. Poitras, Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, 2006.

- *Effets du climat sur la mortalité au Québec méridional de 1981 à 1999 et simulations pour des scénarios climatiques futurs*, B. Doyon, D. Bélanger, P. Gosselin, Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, 2006.

Ces documents seront disponibles en version intégrale sur le site Web de l'INSPQ à www.inspq.qc.ca. [CL]



BISE, le *Bulletin d'information en santé environnementale*, est publié six fois par année par l'Institut national de santé publique du Québec. La reproduction est autorisée à condition de mentionner la source. Toute utilisation à des fins commerciales ou publicitaires est cependant strictement interdite. Le bulletin peut être consulté sur internet à l'adresse www.inspq.qc.ca/bulletin/bise/
 Poste-publications: 40786533
 Dépôt légal : Bibliothèque nationale du Canada et Bibliothèque nationale du Québec ISSN 1199-052X

Adresse de correspondance : Direction risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Institut national de santé publique du Québec, 945, avenue Wolfe, Sainte-Foy (Québec), Canada, G1V 5B3.
 Information : Claire Laliberté, téléphone 418-650-5115, poste 5253; télécopieur 418-654-3144; claire.laliberte@inspq.qc.ca.
 Rédaction : Jean-Marc Leclerc et Claire Laliberté. Révision de textes : Geneviève Brisson. Mise en page : Diane Bizier-Blanchette. Abonnement gratuit : Diane Bizier-Blanchette, téléphone 418-650-5115, poste 5220, télécopieur 418-654-3144, diane.bizier.blanchette@inspq.qc.ca

