Environnement Canada Environment Canada

www.ec.gc.ca

Guide pour la manipulation sécuritaire des produits issus de la nanotechnologie

Version 2009

Rapport scientifique et technique numéro 509

Canada

COMMENTAIRES DES LECTEURS

Veuillez adresser vos commentaires sur le contenu du présent rapport à :

Environnement Canada
Direction générale des sciences et de la technologie
Division de la recherche sur la protection des écosystèmes aquatiques
105, rue McGill
7e étage, Montréal
(Québec) H2Y 2E7

On devra citer la publication comme suit :

Environnement Canada, Direction générale des sciences et de la technologie, Division de la recherche sur la protection des écosystèmes aquatiques. Guide pour la manipulation sécuritaire des produits issus de la nanotechnologie, Rapport scientifique et technique #509, 18 + viii pages.

Imprimée
En84-79/2010F
978-1-100-95054-9

PDF
En84-79/2010F-PDF
978-1-100-95044-0

Also available in English

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre de l'Environnement, 2010

Guide pour la manipulation sécuritaire des produits issus de la nanotechnologie

Version 2009

J. Auclair, P. Turcotte, F. Gagné, C. Gagnon

Division de la recherche sur la protection des écosystèmes aquatiques
Direction générale des sciences et de la technologie
Environnement Canada

Conservation de l'environnement
Environnement Canada

Mai 2009

Perspective de gestion

Le présent document vise à renseigner sur les risques potentiels liés à la manipulation des nanomatériaux issus de la technologie dans un laboratoire de recherche. Il vise également à fournir des points de repère et des lignes directrices comme des bonnes pratiques sur la manipulation de ces produits afin que le personnel de recherche dispose d'un environnement de travail sécuritaire.

Comme il existe actuellement très peu de données concernant les effets possibles des nanomatériaux sur la santé que ce soit à court ou long terme, ce document sera révisé au besoin une fois par année.

RÉSUMÉ

La nanotechnologie représente un secteur en croissance rapide de notre économie. Un nanomatériau se définit comme un matériau dont au moins l'une de ses dimensions est comprise entre 1 et 100 nanomètres. On estime que la production annuelle de ce type de substance qui s'élève de 1 à 2 tonnes aujourd'hui atteindra environ 60 000 tonnes en 2020. Cet essor économique a amené les universités et les organismes gouvernementaux à entreprendre divers programmes de recherche sur le devenir et la toxicité des nanomatériaux rejetés dans les milieux aquatique et terrestre.

Le présent rapport vise à formuler des lignes directrices et des recommandations pratiques afin de permettre la manipulation sécuritaire des nanomatériaux en milieu de travail (laboratoires de recherche en chimie et en toxicologie de l'environnement). Les recommandations proposées reposent sur des lignes directrices déjà publiées par d'autres instances et sur l'expérience acquise par nos scientifiques au travail. Il faudrait évidemment éviter si possible de manipuler les formulations solides de nanomatériaux (poussière) et favoriser plutôt la manipulation des formulations liquides. On suggère une série de mesures pour manipuler les préparations liquides de la façon la plus sécuritaire possible. S'il est impossible d'éviter la manipulation des nanopoudres, on recommande des précautions particulières à prendre pour les manipuler de façon sécuritaire. On recommande aussi de mesurer directement, en temps réel, la présence de particules fines à l'aide de détecteurs portatifs et de déceler, également en temps réel, la contamination du milieu par des trappes à air (aérosols) afin de détecter leur présence dans le milieu de travail.

ABSTRACT

Nanotechnology is a rapidly expanding area of our economy. A nanomaterial is defined as a material with at least one dimension in the 1 to 100 nm size range. It is estimated that the annual production of products derived from nanotechnology will increase from the current level of 1 to 2 tonnes per year to about 60,000 tonnes per year in 2020. This economic boom has prompted universities and government agencies to initiate various research programs on the release and the fate and toxicity of nanomaterials in aquatic and terrestrial environments.

This report is intended to provide guidelines and practical recommendations for the safe handling of nanomaterials in the workplace (environmental chemistry and toxicology laboratories). The proposed recommendations are based on published guidelines and on our own workplace experience. It is clear that the manipulation of solid nanomaterials (dust) should be avoided if possible and that liquid formulations of nanomaterials are much safer to handle. A number of measures are suggested to safely handle these products in liquid forms. In the event that it is not possible to work with liquid suspensions, a series of measures are proposed to ensure special conditions are maintained for the safe handling of nanopowders. It is also recommended that hand-held monitors be used to take direct, real-time measurements of fine particles and that real-time air filters (which capture aerosols) be used to detect workplace contamination.

Table des matières

RÉSUMÉ ..... **iii**

ABSTRACT ..... **iv**

DÉFINITIONS ..... **vii**

LISTE D'ABRÉVIATIONS ..... **viii**

1 INTRODUCTION **1**

2 ACTIVITÉS DE RECHERCHE LIÉES À LA NANOTECHNOLOGIE À ENVIRONNEMENT CANADA **3**

3 VOIES POTENTIELLES D'ABSORPTION DES NANOPARTICULES **4**

3.1 Inhalation 4

3.2 Absorption cutanée 4

3.3 Ingestion 4

4 MESURES DE PROTECTION CONTRE LES NANOPARTICULES ET ATTÉNUATION DES RISQUES **6**

4.1 Confiner les activités de recherche 6

4.2 Limiter la suspension de nanopoudres dans l'air 6

4.3 Limiter la propagation d'aérosols provenant des nanosolutions ou des suspensions 7

4.4 Protection individuelle 7

4.4.1 Protection cutanée *7*

4.4.2 Protection respiratoire *8*

4.4.3 Protection oculaire *8*

4.5 Caractéristiques techniques des laboratoires 8

4.6 Évaluation de l'exposition et validation des méthodes de travail 9

5 ENTREPOSAGE, TRANSPORT, NETTOYAGE ET DÉVERSEMENTS **10**

5.1 Entreposage 10

5.2 Transport 10

5.3 Nettoyage 10

5.4 Déversements 10

6 GESTION DES NANODÉCHETS **12**

7 CONCLUSION **13**

LECTURES SUGGÉRÉES **14**

LIENS INTERNET (2009) **15**

RÉFÉRENCES **16**

Liste des figures

Figure 1. Nanotechnologie : aperçu de l’échelle nanométrique.....2

Liste des tableaux

Tableau 1. Sources potentielles d'exposition professionnelle : manipulation des nanoparticules en laboratoire.....5

DÉFINITIONS

Aérosol – Particule, solide ou liquide qui reste en suspension dans l'air de façon prolongée.

Colloïde – Substance possédant des propriétés à la fois particulaires et dissoutes et souvent considérée comme une nanoparticule ou un matériau d'origine naturelle.

Nanomatériau – Matériau composé de nano-objets qui lui permettent d'acquérir des propriétés particulières. À noter qu'il n'existe aucun consensus officiel sur la définition d'une nanoparticule et que des travaux sont en cours à Environnement Canada pour définir ce terme avec plus de précision.

Nanométrique – Qualifie un polymère ou une particule dont une dimension se trouve à l'échelle du nm.

Nanoparticule – Petit objet dont au moins une de ses dimensions se situe entre 1 et 100 nm.

Nanotechnologie – Toute substance synthétisée par notre société dont au moins une dimension se situe dans l'intervalle de taille entre 1 et 100 nm.

Nanotoxicité – Propriétés toxiques associées à une nanoparticule ou à une nanotechnologie.

Polymère – Terme qui vient du grec *pollus* (plusieurs) et *meros* (partie) et qui désigne une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère (du grec *monos* : un seul ou une seule, et *meros* : partie), motifs qui sont reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes. Plus spécifiquement, un polymère est une substance constituée de molécules caractérisées par l'enchaînement d'au moins un type d'unités monomériques.

LISTE D'ABRÉVIATIONS

APR	appareil de protection respiratoire
MSDS	Material Safety Data Sheet ou fiche signalétique
nm	nanomètre (10^{-9} m)
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
µm	micromètre (10^{-6} m)
PAMAM	dendrimère de polyamidoamine

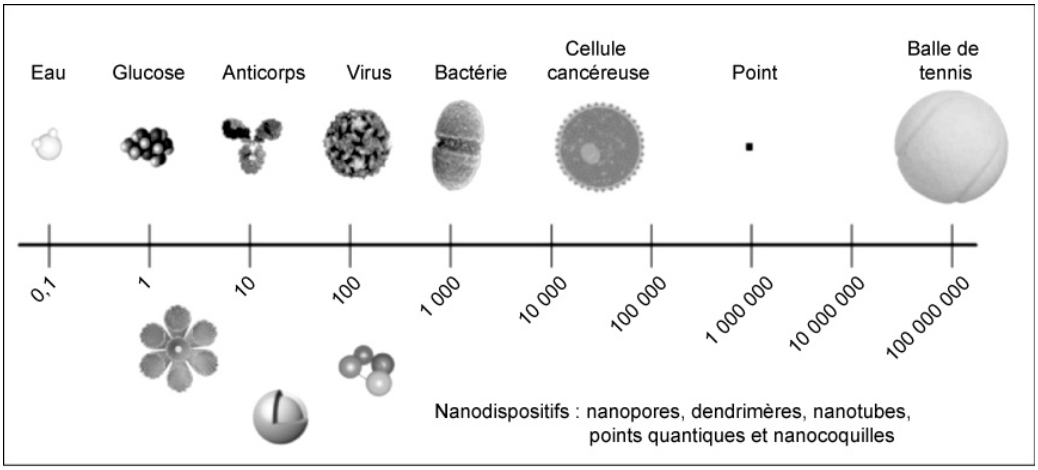
1 INTRODUCTION

Dans l'environnement, les nanoparticules ont toujours été présentes, générées par des phénomènes naturels (éruptions volcaniques et feux de forêts) ou produites involontairement par des procédés industriels à haute température (combustion, soudure et gaz d'échappement de véhicules motorisés). Toutefois, l'avènement de la nanotechnologie et l'utilisation massive de ses produits dérivés dans divers secteurs manufacturiers contribueront certainement à accroître leur présence dans le milieu naturel.

Domaine multidisciplinaire, la nanotechnologie tend à exploiter les propriétés uniques des particules nanométriques pour le développement de procédés et de technologies révolutionnaires qui profiteraient à plusieurs secteurs d'activité économique dont la santé, l'énergie, l'environnement, les technologies de l'information et les communications. La contamination de notre environnement par les nanomatériaux pourrait avoir des répercussions considérables dans un avenir proche. Cette préoccupation a entraîné le lancement et la mise sur pied de programmes de recherche tant au niveau universitaire que gouvernemental pour soutenir les besoins de réglementation et de protection de l'environnement. Ces programmes permettront, entre autres, de mieux définir la présence et la persistance des produits issus de la nanotechnologie ainsi que leurs effets toxiques sur la faune aquatique et terrestre.

Les nanoparticules (parfois décrites comme des particules ultrafines) sont définies par la communauté scientifique comme étant des particules dont au moins une dimension est comprise entre 1 et 100 nm. Les nanotubes de carbone illustrent bien cette définition puisqu'ils présentent un diamètre inférieur à 100 nm et une longueur maximale de quelques µm.

Figure 1. Nanotechnologie : aperçu de l'échelle nanométrique



Source : National Cancer Institute

À l'échelle nanométrique, des changements significatifs peuvent être observés à l'égard des propriétés physiques (optiques, mécaniques, électriques et magnétiques) et chimiques (réactivité et stabilité). Ces nouvelles caractéristiques amènent à penser que les nanoparticules pourraient présenter un potentiel de risque plus élevé ou adopter de nouveaux mécanismes de toxicité. En d'autres termes, la recherche sur les propriétés toxiques des nanoparticules est en voie de définir une « nouvelle » toxicologie, soit la nanotoxicologie, où les effets ne sont plus seulement étudiés en fonction de la dose et de la durée d'exposition, mais en fonction de la taille, de la forme, de l'aire de surface et de la présence de propriétés diélectriques et semi-conductrices (Gagné et al., 2007). Pour le moment, les risques associés aux nanoparticules semblent essentiellement reposer sur la capacité de ces dernières à franchir les barrières biologiques (petite taille) ainsi que sur leur persistance dans l'air attribuable à des phénomènes d'aérosolisation (poussières fines) et leur réactivité accrue à cause de leur grande surface.

La production de renseignements liés à la toxicité des nanoparticules est encore à ses débuts. Toutefois, des dizaines de laboratoires de recherche tentent présentement de définir et de comprendre les effets des interactions des nanoparticules sur les organismes vivants et les écosystèmes. Par ailleurs, plusieurs pays s'unissent dans le cadre d'initiatives internationales menées sous l'égide d'organismes tels l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) afin d'établir des normes qui permettront de mieux encadrer les activités associées aux nanotechnologies.

Les outils classiques d'information associée aux risques en santé et sécurité tels que les fiches signalétiques (MSDS) constituent habituellement un excellent point de départ pour l'adoption de pratiques sécuritaires en laboratoire. Par contre, il faut être vigilant lorsqu'il est question de nanoparticules puisque les fiches signalétiques constituent, pour la plupart d'entre elles, une maigre source d'information. Ces fiches contiennent parfois des données toxicologiques relatives aux éléments composant les nanoparticules sans tenir compte de leur taille nanométrique et de leurs propriétés de surface. Des études ont également indiqué que les nanoparticules de composition chimique semblable possédaient un potentiel de toxicité plus élevé qu'une particule de taille micrométrique (Barlow et al., 2005; Duffin et al., 2007; Midander et al., 2009). Par conséquent, les nanoparticules devraient toujours être considérées comme étant des produits toxiques lorsque l'information liée à leur toxicité est limitée ou ambigüe.

2 ACTIVITÉS DE RECHERCHE LIÉES À LA NANOTECHNOLOGIE À ENVIRONNEMENT CANADA

À Environnement Canada, les activités en matière de nanotechnologie que mène la Section de la recherche sur les écosystèmes fluviaux visent principalement à mieux comprendre l'impact des produits issus de la nanotechnologie sur les écosystèmes fluviaux. Elles portent plus particulièrement sur leur persistance et leur distribution dans le milieu aquatique, y compris les sédiments et les organismes formant la chaîne trophique, soit les bactéries, les algues (cyanobactéries), les invertébrés (microcrustacés, hydres et bivalves) et les poissons.

Les activités de recherche englobent plusieurs volets dont les suivants :

- Développement de bioessais et de biomarqueurs sensibles pour les particules nanométriques qui permettent d'en évaluer la nanotoxicité (taille, forme, propriétés de surface, vectorisation, etc.)
- Caractérisation physico-chimique des nanoparticules dans diverses matrices d'eau et dans les sols
- Évaluation des produits de dégradation des nanoparticules
- Étude des transformations des nanoparticules dans le milieu
- Analyses toxicologiques sur différents organismes représentatifs des écosystèmes aquatiques (organismes représentatifs d'une chaîne trophique)
- Élaboration d'approches liées à la toxicogénomique des nanoparticules ainsi qu'à leur vectorisation : nanovecteurs ou transporteurs de médicaments

Les nanoparticules à l'étude sont principalement les points quantiques (CdTe) utilisés dans les domaines de l'imagerie et de la production d'énergie renouvelable (panneaux solaires), les nanoparticules d'argent reconnues pour leurs propriétés antibactériennes et les dendrimères de polyamidoamines (PAMAM), c'est-à-dire des nanopolymères développés, entre autres, pour la formulation de produits pharmaceutiques. D'autres nanoparticules ont également fait l'objet d'études dont les oxydes métalliques, les nanotubes de carbone et la nanocellulose.

3 VOIES POTENTIELLES D'ABSORPTION DES NANOPARTICULES

Tout comme pour un composé chimique classique, les nanoparticules peuvent être absorbées par trois voies principales : l'inhalation, l'absorption cutanée et l'ingestion. Il est également important de mentionner que certaines propriétés intrinsèques aux nanoparticules facilitent leur entrée dans les cellules (comme la pinocytose). Au niveau cellulaire, les nanoparticules peuvent se trouver dans divers compartiments, voire dans le noyau contenant toute l'information génétique (Lovric et al. 2005; AshaRani et al., 2009).

3.1 Inhalation

En milieu de travail, l'inhalation de nanoparticules sous forme d'aérosols solides ou liquides constitue la principale voie d'exposition (tableau 1). Il a été démontré que la rétention pulmonaire des particules inhalées dont la taille est inférieure à 20 nm pouvaient atteindre de 80 à 100 % (Ostiguy et al. 2008; University of California, 2008). Une fois à l'intérieur du poumon, ces nanoparticules peuvent se loger dans le sac alvéolaire. À cet endroit, le contact étroit entre les alvéoles et le système sanguin peut faciliter leur translocation vers d'autres organes dont le foie et le cerveau (Oberdorster et al. 2002; id., 2004). D'autres études ont également démontré que les nanoparticules pouvaient accéder directement au système nerveux central par l'intermédiaire du nerf olfactif (Elder et al., 2006; Wang et al., 2008).

3.2 Absorption cutanée

La peau peut être une autre voie d'entrée des nanoparticules. Cependant, aucun consensus n'est présentement établi dans la littérature quant au potentiel d'absorption cutané des nanoparticules de synthèse. En effet, certaines études démontrent qu'elles peuvent traverser en faible quantité la barrière cutanée après seulement 24 h d'exposition (Mortensen et al., 2008; Larese et al., 2009), tandis que d'autres soutiennent qu'elles ne pénètrent pas au-delà du stratum corneum, c'est-à-dire la couche cornée de l'épiderme (Cross et al., 2007; Zhang et al., 2008; Zvyagin et al., 2008). Étant donné la diversité des observations, il reste encore difficile de généraliser pour toutes les nanoparticules.

3.3 Ingestion

L'ingestion de nanoparticules peut se produire de façon accidentelle simplement en portant des mains souillées à la bouche. Elle peut aussi avoir lieu lors du transfert vers la cavité oropharyngienne des nanoparticules déposées dans le système respiratoire. Après la déglutition, les particules peuvent progresser dans le tractus digestif et potentiellement traverser la paroi intestinale pour être ensuite véhiculées dans le sang.

Tableau 1. Sources potentielles d'exposition professionnelle : manipulation des nanoparticules en laboratoire

Voies d’absorption possibles	
Manipulation des nanopoudres (pesée et préparation d’échantillons)	Inhalation (aérosols solides) > absorption cutanée
Préparation d’une suspension de nanoparticules dans un milieu aqueux. Méthodes utilisées pour la mise en suspension, la sonication et/ou l’agitation vigoureuse (de type vortex) sur des tubes non bouchés	Inhalation (aérosols liquides) ou absorption cutanée
Manipulation de nanoparticules en solution (pipetage, filtration et transvidage)	Absorption cutanée ou inhalation (aérosols liquides)
Expositions in vivo dans les milieux aqueux requérant une aération	Inhalation (aérosols liquides) ou absorption cutanée

4 MESURES DE PROTECTION CONTRE LES NANOPARTICULES ET ATTÉNUATION DES RISQUES

4.1 Confiner les activités de recherche

- Réserver des endroits précis dans le laboratoire aux activités liées à la nanotechnologie. Le confinement des activités empêche la contamination inutile des espaces de travail.

- Identifier les espaces de travail où se déroulent des activités de recherche sur les nanoparticules.

- Dédier de la verrerie de laboratoire aux manipulations des nanotechnologies et la faire entretenir par les utilisateurs.

4.2 Limiter la suspension de nanopoudres dans l'air

- Favoriser l'utilisation de produits en solution et acheter des préparations commerciales où les nanoparticules sont déjà en suspension.

- Utiliser, pour la manipulation de nanopoudres, des hottes chimiques, des boîtes à gants, des enceintes de sécurité biologique de classe II (de type B1 ou B2) ou des hottes portables qui permettent l'évacuation directement dans une hotte chimique. Ce type de hotte permet de placer une balance et de pouvoir y travailler.

- Enlever la statique que peut contenir les nanopoudres avant de les peser en utilisant un appareil antistatique (Mettler Toledo). Cette étape permettra de réduire davantage le potentiel d'aérosolisation des nanopoudres.

- Toujours utiliser des hottes ou des enceintes qui permettent d'évacuer l'air à l'extérieur du bâtiment.

- Ne jamais travailler avec des nanopoudres dans une hotte ou une enceinte qui recycle l'air dans le laboratoire.

- Ne pas manipuler les nanopoudres directement sur les paillasses de laboratoire, mais favoriser plutôt le confinement.

- Couvrir les surfaces de travail d'un papier absorbant (de type Versi-Dry) pour protéger en cas de déversement et faciliter le nettoyage.

Pour obtenir de plus amples renseignements au sujet des enceintes de sécurité, consulter la troisième édition des *Lignes directrices en matière de biosécurité en laboratoire* produites par l'Agence de santé publique du Canada (2004) et plus particulièrement le chapitre 9 intitulé « Enceintes de sécurité biologique » (www.phac-aspc.gc.ca/publicat/lbg-ldmbl-04/ch9-fra.php?option=print).

4.3 Limiter la propagation d'aérosols provenant des nanosolutions ou des suspensions

- Les activités générant des aérosols (sonication, filtration, agitation vigoureuse et aération) doivent être effectuées sous une hotte chimique ou, dans le cas contraire, à l'aide de contenants préalablement bouchés de façon hermétique.
- Les activités de pipetage et de transvidage peuvent également produire des aérosols. Il est recommandé d'effectuer les manipulations sous une hotte chimique ou dans un espace bien ventilé favorisant l'échange d'air afin d'éloigner les aérosols de l'expérimentateur le plus rapidement possible (c.-à-d. le dos opposé au sens de la ventilation).
- Pour des manipulations nécessitant une stérilité, il faut privilégier les enceintes de sécurité biologique de classe II (de type B1 ou B2) si elles sont disponibles. Les enceintes de classe II protègent le manipulateur, le produit et l'environnement et elles sont principalement utilisées dans les laboratoires de niveau 2, 3 et 4.
- Il faut couvrir les surfaces de travail d'un papier absorbant (de type Versi-Dry) pour se protéger en cas de déversement et faciliter le nettoyage.

4.4 Protection individuelle

4.4.1 Protection cutanée

- Le port du sarrau est obligatoire comme pour tout autre travail en laboratoire. De plus, il est recommandé de laisser ce vêtement au laboratoire.
- Il est bon d'utiliser les sarraus ou les protège-manches jetables lorsqu'on prévoit une exposition importante ou des éclaboussures (p. ex., lors des expositions d'organismes à des volumes plus ou moins importants).
- Les sarraus ou vêtements contaminés par des nanoparticules sont enlevés immédiatement, lors d'un incident par exemple, et considérés comme des déchets dangereux.
- Les **gants de nitrile** sont à privilégier pour toute manipulation. Comparativement au latex, le nitrile résiste mieux aux perforations, aux produits chimiques (solvants) et aux agents microbiens.
- Il faut changer de gants de façon régulière ou en cas de contamination.
- Il est recommandé de porter des gants en double épaisseur lors d'un contact important avec la substance (c.-à-d. pour de la manipulation de solutions concentrées).
- Au niveau des poignets, il faut veiller à couvrir la peau avec les gants ou les manches du sarrau.
- Il faut enfin se laver immédiatement les mains après avoir retiré les gants.

4.4.2 Protection respiratoire

- Favoriser une méthode de travail permettant d'éliminer toute possibilité d'inhalation. L'utilisation d'enceintes ou de hottes est plutôt recommandée. La manipulation de nanoparticules en solution permet également de réduire significativement l'exposition des voies respiratoires.

- Le port d'appareils de protection respiratoire (APR) est à déconseiller pour les nanopoudres. La mise en place d'un programme de protection respiratoire s'impose lorsque l'emploi de ces poudres est nécessaire. Une formation, une sélection et un entretien efficaces sont des éléments clés pour limiter les risques que peuvent représenter l'utilisation des APR.

- Comme pour les plus grosses particules, l'efficacité des masques pour se protéger des nanoparticules dépend également de l'étanchéité masque-visage. Les APR semblent toutefois très performants contre les nanoparticules lorsqu'ils sont sélectionnés et utilisés convenablement.

- Pour la manipulation des nanopoudres sous hotte, toujours favoriser la manipulation de petites quantités et travailler le plus loin possible de l'ouverture de la porte vitrée (minimum 15 cm). Éviter les gestes brusques dans l'enceinte et à proximité pouvant causer de la turbulence. Celle-ci pourrait alors disperser les contaminants (nanopoudres) hors de la hotte. Conserver l'ouverture de la hotte dans une zone sécuritaire, de 20 à 40 cm de la surface de travail (de préférence sous le menton de l'expérimentateur). L'enceinte ne doit pas être encombrée inutilement.

- Pour la manipulation des nanoparticules en solution, les APR ne semblent pas être requis à moins que les activités ne forment d'aérosols liquides. Le port d'un masque (de type HEPA P100) peut s'avérer utile pour bloquer ces aérosols surtout lorsque la manipulation s'effectue hors d'une enceinte.

4.4.3 Protection oculaire

- Le port de lunettes de sécurité est obligatoire pour la manipulation des nanoparticules qu'elles soient sous forme de poudre ou en solution.

- Afin d'assurer une protection accrue, il est recommandé d'utiliser des lunettes de sécurité étanches pour certaines applications (comme une grande exposition aux aérosols). Certaines universités suggèrent même le port d'un écran facial.

Pour obtenir de plus amples renseignements sur la protection oculaire, consulter la section consacrée aux lunettes de sécurité sur le site Web du Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (http://www.cchst.ca/oshanswers/prevention/ppe/glasses.html).

4.5 Caractéristiques techniques des laboratoires

- Les laboratoires qui effectuent de la recherche sur les nanoparticules devraient posséder un système de ventilation où l'air est non recyclé, évacué à l'extérieur du et changé au moins 6 à 12 fois par heure.

- Les laboratoires devraient être soumis à une pression négative de l'air par rapport aux zones adjacentes.

- Dans certains laboratoires, on installe des tapis adhésifs près des voies d'accès pour limiter la dispersion des particules hors des locaux.

4.6 Évaluation de l'exposition et validation des méthodes de travail

- Se munir d'un détecteur portatif de particules fines (modèle compact) et installer un système de capture d'aérosols afin de déterminer en temps réel la dispersion des aérosols et des nano-poussières dans le laboratoire. Disposer de petits collecteurs d'aérosols (papiers filtres de 0,2 µm de 3 cm de diamètre) à divers endroits dans l'espace de travail (et même sur le sarrau) et mesurer la présence des nanoproduits afin de vérifier la dispersion des aérosols ou poussières (p. ex., mesure mensuelle du cadmium total sur le filtre si on manipule des points quantiques à base de cadmium). On validera ainsi l'efficacité des mesures prises en fonction d'un espace de travail donné pour la manipulation sécuritaire de ces produits.

- Il faut toutefois être vigilant quant à la sélection des méthodes et des instruments pour évaluer l'exposition aux nanoparticules. L'interprétation des données doit nécessairement tenir compte des niveaux de sensibilité (quantité) et de sélectivité (taille) des détecteurs de particules fines.

- Pour ce qui est de la possibilité de placer des filtres sur les sarraus, on mesurera aussi l'ensemble des poussières de l'air ambiant qui contiennent également des métaux. Avec les techniques de détection modernes, on décèlera la présence de nombreux métaux. Distinguer l'apport de l'air du laboratoire des nanoparticules sera une tâche complexe. Le travail en confinement semble donc plus approprié.

5 ENTREPOSAGE, TRANSPORT, NETTOYAGE ET DÉVERSEMENTS

5.1 Entreposage

- Pour l'entreposage des nanoparticules, suivre les recommandations indiquées sur la fiche signalétique du produit. Certaines nanoparticules sont très réactives et nécessitent des conditions particulières afin de limiter les risques d'incendie et d'explosion.

- Pour toutes les nanopoudres, s'assurer que les contenants sont bien refermés après utilisation. Par mesure de prévention, chaque contenant devrait être scellé avec du parafilm et placé dans un bac hermétique résistant aux chocs.

5.2 Transport

- Le transport de nanopoudres doit s'effectuer dans des contenants hermétiques résistants aux chocs.

5.3 Nettoyage

Toujours porter l'équipement de protection individuel nécessaire.

- Nettoyer les espaces de travail et l'équipement dont les hottes de laboratoire et la salle d'exposition (incubateur) après utilisation.

- Procéder à un nettoyage par voie humide (papier absorbant humidifié) lorsqu'il est question de nanopoudres pour éviter l'aérosolisation des nanoparticules dans l'air.

5.4 Déversements

Tout laboratoire travaillant avec des nanoparticules devrait posséder une trousse contenant le matériel nécessaire pour procéder de façon sécuritaire à la neutralisation et au nettoyage d'un déversement.

La trousse devrait contenir les éléments suivants :

- demi-masques filtrants hermétiques de type HEPA P100 (test d'ajustement effectué) ou demi-masques filtrants de type HEPA P100 jetables

- lunettes étanches

- sacs en plastique scellables

- matériel absorbant

- tapis adhésif (p. ex., Tacki-MatTM)

Pour tout déversement, porter une double épaisseur de gants de nitrile. Lorsque des déversements importants de nanopoudres se produisent à l'extérieur d'une enceinte, des masques filtrants jetables et des lunettes étanches devraient être utilisés pour une meilleure protection respiratoire et oculaire. Procéder au nettoyage à l'aide de papier absorbant humide pour limiter la dispersion des nanoparticules dans l'air.

Placer tous les déchets dans des sacs en plastique scellables. Les aspirateurs munis de filtres à très haute efficacité (HEPA) peuvent également être utilisés (Nilfisk GM80CR). Toutefois, certaines précautions doivent être prises (Massachusetts Institute of Technology, 2008).

6 GESTION DES NANODÉCHETS

Les connaissances actuelles sur la toxicité des nanoparticules de synthèse sont encore limitées. Dans ce contexte, toutes les nanoparticules devraient être considérées comme des substances dangereuses jusqu'à preuve du contraire.

Collecter tous les nanodéchets et le matériel contaminé :

- nanoparticules et nanosolutions à l'état pur
- échantillons et matériel contaminé avec des nanoparticules (papier absorbant, filtres, gants, etc.)
- liquides contenant des nanoparticules en suspension
- matériaux solides pouvant libérer des nanoparticules dans l'air ou l'eau (facilement dommageable

Les **déchets liquides** doivent être entreposés dans des contenants étanches. Les bouchons de verre ou de caoutchouc sont à proscrire.

Les **déchets solides ou contaminés** doivent être placés dans des sacs robustes en plastique ou des contenants étanches. Lorsque les déchets sont collectés dans des sacs de plastique, pratiquer le double emballage en plaçant le sac préalablement scellé dans un deuxième pour accroître l'étanchéité et limiter les risques de perforations.

Tous les contenants et sacs de déchets doivent être bien identifiés et porter la mention « nanoproduits ». Les déchets dont les nanoparticules contiennent des métaux ou des produits chimiques toxiques doivent également être identifiés à cet effet.

7 CONCLUSION

Le présent rapport a été rédigé en s'inspirant de diverses sources d'information (rapports, guides universitaires, articles et sites Internet) se rapportant à la manipulation de nanoparticules et il constitue une base dans l'approche à adopter pour assurer des pratiques sécuritaires en laboratoire. Toutefois, il est de la responsabilité de chacun d'évaluer les risques propres à ses activités de recherche et de prendre les mesures nécessaires pour maximiser sa protection et celle de ses collègues.

LECTURES SUGGÉRÉES

Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (2008). « Les nanomatériaux : Sécurité au travail ». Rapport scientifique de l'Agence, 247 p.

National Institute for Occupational Safety and Health (2009). « Approaches to Safe Nanotechnology: Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials ». Rapport scientifique de l'Institut, 125 p.

Ostiguy, C., B. Roberge, L. Ménard et C.A. Endo. (2008) « Guide de bonnes pratiques favorisant la gestion des risques reliés aux nanoparticules de synthèse ». Études et recherches, guide technique R-586, 73 p. (Version anglaise, R-599)

LIENS INTERNET (2009)

Mots clés : Handling nanomaterials, Nanosafety, Nanotechnology awareness, Working with nanomaterials.

International Council on Nanotechnology. Base de données de la littérature évaluant les risques des nanotechnologies pour l'environnement et la santé.
http://icon.rice.edu/research.cfm

Agence de la santé publique du Canada. Lignes directrices en matière de biosécurité en laboratoire : 3e édition 2004.
www.phac-aspc.gc.ca/publicat/lbg-ldmbl-04/ch9-fra.php

Harvard University, University Operations Services, Environmental Health & Safety.
Working safely with nanomaterials.
www.uos.harvard.edu/ehs/ih/nanotech_control.shtml

Massachusetts Institute of Technology, Environmental Programs/EHS. *Potential Risks of Nanomaterials and How to Safely Handle Materials of Uncertain Toxicity*.
http://web.mit.edu/environment/ehs/topic/nanomaterial.html

RÉFÉRENCES

AshaRani, P.V., G.K.M. Low, M.P. Hande et S. Valiyaveettil (2009). « Cytotoxicity and genotoxicity of silver nanoparticles in human cells », ACS Nano, 3: 279-290.

Barlow, P.G., A.C. Clouter-Baker, K. Donaldson, J. Mac¬Callum et V. Stone (2005). « Carbon black nanoparticles induce type II epithelial cells to release chemotaxins for alveolar macrophages », *Part Fiber Toxicol*, 2: 14.

Cross, S.E., B. Innes, M.S. Roberts, T. Tsuzuki, T.A. Robertson et P. McCormick (2007). « Human skin penetration of sunscreen nanoparticles: in-vitro assessment of a novel micronized zinc oxide formulation ». *Skin Pharmacol Physiol*, 20: 148-154.

Duffin, R., L. Tran, D. Brown, V. Stone et K. Donaldson (2007). « Proinflammogenic effects of low-toxicity and metal nanoparticles in vivo and in vitro: highlighting the role of particle surface area and surface reactivity ». *Inhal Toxicol*, 19: 849-856.

Elder, A., R. Gelein, V. Silva, T. Feikert, L. Opanashuk, J. Carter, R. Potter, A. Maynard, Y. Ito, J. Finkelstein et G. Oberdörster (2006). « Translocation of inhaled ultrafine manganese oxide particles to the central nervous system ». *Environ Health Perspect*. 114: 1172-1178.

Gagné, F., C. Gagnon, et C. Blaise (2007). « Aquatic nanotoxicology: a review ». *Current Topics Toxicol*. 4: 51-64.

Larese, F.F., F. D'Agostin, M. Crosera, G. Adami, N. Renzi, M. Bovenzi et G. Maina (2009). « Human skin penetration of silver nanoparticles through intact and damaged skin ». *Toxicology*, 255: 33-37.

Lovric, J., H.S. Bazzi, Y. Cuie, G.R. Fortin, F.M. Winnik et D. Maysinger (2005). « Differences in subcellular distribution and toxicity of green and red emitting CdTe quantum dots ». *J Mol Med*. 83: 377-385.

Massachusetts Institute of Technology (2008) *Best Practices for Handling Nanomaterials in Laboratories*, Cambridge (MA) : Environmental Programs/EHS, 6 p. [consulté en novembre 2009]. http://web.mit.edu/environment/pdf/University_Best_Practices.pdf

Midander, K., P. Cronholm, H.L. Karlsson, K. Elihn, L. Möller, C. Leygraf et I.O. Wallinder (2009). « Surface characteristics, copper release, and toxicity of nano- and micrometer-sized copper and copper(II) oxide particles: a cross-disciplinary study ». *Small* 5: 389-399.

Mortensen, L.J., G. Oberdörster, A.P. Pentland et L.A. Delouise (2008). « In vivo skin penetration of quantum dot nanoparticles in the murine model: the effect of UVR ». *Nano Lett*. 8: 2779-2787.

Oberdorster, G., Z. Sharp, V. Atudorei, A. Elder, R. Gelein, A. Lunts, W. Kreyling et C. Cox (2002). « Extrapulmonary translocation of ultrafine carbon particles following whole-body inhalation exposure of rats ». *J Toxicol Environ Health A*. 65:1531-1543.

Oberdorster, G., Z. Sharp, V. Atudorei, A. Elder, R. Gelein, W. Kreyling et C. Cox (2004). « Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain ». *Inhal Toxicol* 16: 453-459.

Ostiguy, C., B. Soucy, G. Lapointe, C. Woods et L. Ménard (2008). « Les effets sur la santé reliés aux nanoparticules ». Deuxième édition. *Études et recherches*, rapport R-558, 112 p.

Ostiguy, C., G. Lapointe, L. Ménard, Y. Cloutier, M. Trottier, M. Boutin, M. Antoun et C. Normand (2006). « Les nanoparticules : connaissances actuelles sur les risques et les mesures de prévention en santé et en sécurité du travail ». *Études et recherches*, rapport R 455, 77 p.

University of California (2007). *Nanotechnology: Guidelines for safe research practices*, Berkley (CA): Office of Environment, Health and Safety. Fact Sheet 73, 4 p.

Wang, J., Y. Liu, F. Jiao, F. Lao, W. Li, Y. Gu, Y. Li, C. Ge, G. Zhou, B. Li, Y. Zhao, Z. Chai et C. Chen (2008). « Time-dependent translocation and potential impairment on central nervous system byintranasally instilled TiO(2) nanoparticles ». *Toxicology*, 254: 82-90.

Zhang, L.W. et N.A. Monteiro-Riviere (2008). « Assessment of quantum dot penetration into intact, tape-stripped, abraded and flexed rat skin ». *Skin Pharmacol Physiol*. 21:166-180.

Zvyagin, A.V., X. Zhao, A. Gierden, W. Sanchez, J.A. Ross et M.S. Roberts (2008). « Imaging of zinc oxide nanoparticle penetration in human skin in vitro and in vivo ». *J Biomed Opt*, 13:064031.

www.ec.gc.ca

Pour des renseignements supplémentaires :

Environnement Canada
Informathèque
351, boulevard St-Joseph
Place Vincent-Massey, 8e étage
Gatineau (Québec) K1A 0H3
Téléphone : 1-800-668-6767 (au Canada seulement) ou 819-997-2800
Télécopieur : 819-994-1412
ATS : 819-994-0736
Courriel : enviroinfo@ec.gc.ca