

NANOTECHNOLOGIE, où en sommes-nous?

La nanotechnologie est à la mode mais les modes sont dites passagères, en sera-t-il ainsi pour cette dernière ou est-elle là pour rester? N'oublions pas que la science-fiction d'hier, est déjà dans notre quotidien, nous n'avons qu'à penser aux téléphones cellulaires, à la micro-informatique, etc. Nous ne sommes peut-être pas si éloignés du *Voyage fantastique** d'Isaac Asimov ou de *La Proie* de Michael Crichton...

La nanotechnologie concerne la conception, la caractérisation, la production et l'application de structures, dispositifs et systèmes par le contrôle de la forme et de la taille à une échelle nanométrique.

Les nanoparticules (NP) peuvent être décrites comme des particules ayant au moins une de leurs dimensions inférieure à 100 nanomètres (nm). L'unité nanomètre est utilisée pour désigner une mesure de l'ordre du milliardième de mètre (0,000 000 001 ou 10^{-9}). Plus concrètement, un diamètre 30 000 fois plus petit que l'épaisseur d'un cheveu.

Les NP, des particules nouvelles, oui mais pas toutes! En effet, certaines sont émises depuis longtemps même si nous ne le réalisons pas, elles peuvent :

- être d'origine naturelle puisque qu'elles sont présentes dans l'environnement, p. ex. : les produits de combustion dégagés lors des feux de forêts ou par les volcans;
- provenir de l'activité humaine, p. ex. : des produits de combustion et des gaz d'échappement des moteurs diesel;
- être manufacturées par l'homme, p. ex. : le noir de carbone (pneus...), le dioxyde de titane ou TiO_2 (peintures blanches, dentifrices, crèmes solaires...).

Cependant, l'engouement actuel vient principalement de nouvelles particules dont la fabrication mise sur leurs propriétés basées sur leur petite taille qui permettent d'envisager de nouvelles perspectives industrielles et commerciales. Par exemple, on estime qu'un nanotube de carbone présenterait une résistance 100 fois supérieure à l'acier.

* Le laboratoire de NanoRobotique sous la direction du Prof. Sylvain Martel, de l'École Polytechnique de Montréal, en est au développement de biotransporteurs et de biocapteurs navigables dans les vaisseaux sanguins en utilisant l'imagerie par résonance magnétique (IRM).

Mentionnons comme exemples de NP :

- les **fullerènes**
ce sont des cages sphériques contenant de 28 à plus de 100 atomes de carbone
- les **nanotubes de carbone**
il s'agit de molécules de carbone enroulées dans un réseau hexagonal d'atomes de carbone pour former des cylindres creux à une seule paroi (les SWCNT pour *Single Wall Carbon NanoTubes*) ou plusieurs parois (les MWCNT pour *Multi Wall Carbon NanoTubes*) de cylindres coaxiaux de diamètres croissants dans le même axe
- les **points quantiques** ou « quantum dot »
ils sont formés d'un noyau colloïdal entouré d'un ou de plusieurs enrobages de surface
- les **nanocapsules**, les **nanosphères**, les **nanocoquilles**
ce sont des polymères organiques insolubles
- les **dendrimères**
ce sont des polymères en étoile qui comportent de multiples ramifications concentriques (arborescences)

Il existe également de nombreuses autres nanoparticules tant organiques (p. ex.: le polystyrène et la doxorubicine) qu'inorganiques (constituées de métaux comme l'or, de différents produits ou alliages inorganiques tel que le TiO_2).

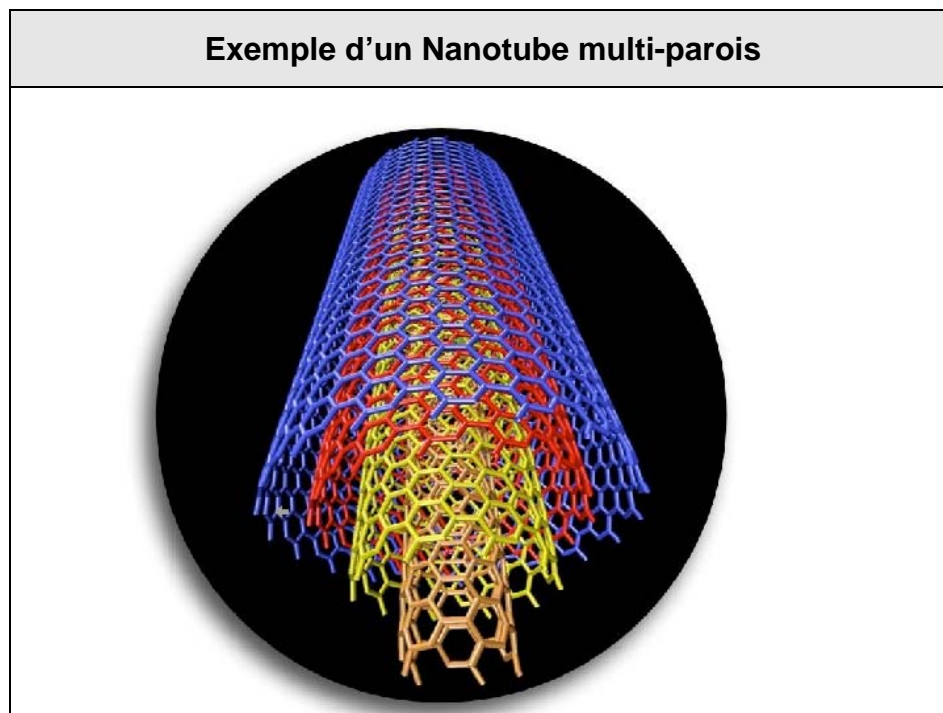


Photo reproduite avec la permission du prof. A Rochefort de
l'École Polytechnique de Montréal

Utilisation

Plusieurs organismes estiment que le marché mondial annuel sera de l'ordre de 1 000 milliards de dollars américain vers 2015. NanoQuébec* rapporte que 573 industries (utilisation dans des procédés, fabrication, recherche et développement, etc.) ont été recensées aux États-Unis et 51 au Canada.

De nombreux produits issus de la nanotechnologie, fabriqués ici ou ailleurs, sont déjà disponibles et utilisés au Québec. Le développement, la fabrication et les applications des NP et des nanomatériaux devraient se diversifier et s'accroître au cours des prochaines années. On peut les trouver, notamment :

- dans les **matériaux**, pouvant permettre de fabriquer des produits ayant de nouvelles propriétés mécaniques telles qu'une :
 - résistance accrue du verre à l'usure ou à l'égratignure;
 - adhésion plus grande des pneus;
- en **électronique**, pour élaborer des appareils de stockage de données plus petits, plus rapides et moins énergivores;
- en **optique** pour les microscopes et de nouvelles instrumentations, p. ex. : la lithographie par nano-impression;
- dans les **produits de consommation** tels que des :
 - crèmes solaires et crèmes antirides;
 - emballages intelligents, i.e. paramétrables (identification, conditions de fabrication et de transport);
 - fibres pour améliorer les bâtons de hockey et de golf (durabilité, légèreté, etc.);
 - textiles ayant des propriétés antitache et infroissable;
 - teintures pour le bois plus résistantes à l'usure;
 - peintures anti-graffiti;
- en **biologie** et en **médecine** pour :
 - améliorer la conception et le ciblage de médicaments;
 - les analyses biomédicales afin, par exemple, de mieux caractériser des microorganismes (laboratoire sur puce « Lab-on-a chip », puce à ADN);
 - faire un meilleur diagnostic par l'imagerie;
- l'**auto-assemblage** des atomes et des molécules, pour faire des nano-moteurs;
- les **nano-objets** et les **nanorobots** pour l'exploration spatiale, pétrolière, etc.;
- l'**interfaçage** entre le vivant et l'inerte, p. ex.: électronique-neurone.

* Le marché mondial des nanotechnologies d'ici 2015 (le 12 mars 2008).

Les activités de l'industrie des nanotechnologies au Canada se répartissent autour des 5 centres régionaux suivants :

- Montréal : 40 %
- Toronto : 25 %
- Ottawa : 15 %
- Edmonton*: 10 %
- Vancouver : 10 %

Les nanomatériaux manufacturés sont considérés comme la prochaine révolution industrielle et médicale. Au Québec, le textile, le pharmaceutique, l'agroalimentaire, l'électronique et le photonique sont des domaines qui y sont bien représentés.

Procédés de fabrication

La nanotechnologie, c'est la manipulation de la matière au niveau atomique. Deux méthodes d'élaboration des structures nanométriques sont utilisées :

- a) l'approche ascendante ou de bas en haut (« *bottom-up* »), soit l'assemblage à partir des éléments de base de la matière, atome par atome ou molécule par molécule, pour construire des systèmes plus grands; *et*,
- b) l'approche descendante ou de haut en bas (« *top-down* »), par la réduction des matériaux existants à des dimensions nanométriques.

Approche	Exemples de procédé
Ascendante (« <i>bottom-up</i> »)	<ul style="list-style-type: none">• Auto-assemblage• Érosion laser• Pyrolyse laser• Synthèse chimique
Descendante (« <i>top-down</i> »)	<ul style="list-style-type: none">• Broyage• Compactage• Frittage

La population exposée

Au niveau industriel et manufacturier, NanoQuébec diffuse un répertoire d'environ 50 entreprises québécoises. En recherche et développement, le Québec compte près de 200 professeurs-chercheurs et environ 1 000 étudiants.

De nombreux travailleurs œuvrent à la synthèse, à la transformation ou à l'utilisation de NP et leur nombre devrait augmenter au cours des prochaines années.

* L'université d'Alberta, à Edmonton, est le siège de l'Institut national de nanotechnologie (INNT) fondé en 2001 et exploité conjointement avec le Conseil national de recherche du Canada (CNRC).

Propriétés physiques et physicochimiques

Les NP sont intéressantes parce qu'elles peuvent acquérir d'autres propriétés, changer de couleur avec la diminution de la dimension, passer d'insoluble à soluble, etc. Par exemple, les points quantiques qui peuvent être utilisés dans les semi-conducteurs et permettent de marquer et de détecter diverses molécules dans la cellule.

Propriétés toxicologiques

Les NP ont des propriétés différentes de celles de particules plus grosses du même produit. Généralement, plus elles sont petites, plus elles sont réactives et peuvent s'avérer toxiques.

Les NP peuvent avoir un impact sur la santé des travailleurs. À cette dimension, les nanoparticules pénètrent facilement dans l'organisme et génèrent des effets comme le stress oxydatif, des interactions protéiques et génétiques.

Elles ont cependant fait l'objet de relativement peu d'études. Les études *in vivo* chez l'animal sont peu nombreuses et les données humaines presque inexistantes. Cependant, les données disponibles ne couvrent qu'une fraction des informations requises pour permettre de conclure définitivement sur la toxicité ou l'innocuité de l'une ou l'autre d'entre elles.

NP de référence

Il est important d'avoir des NP de référence afin de pouvoir faire une meilleure comparaison et ainsi limiter les biais éventuels car il y a beaucoup de différences pour une même NP.

L'élaboration de NP de référence bien caractérisées (taille, distribution granulométrique, surface spécifique, concentration, cristallinité, solubilité, composition chimique, charge électrique, morphologie, structure, degré d'agrégation, propriétés mécaniques, électriques, magnétiques, optiques, chimie de surface, solubilité) devrait éventuellement permettre une meilleure compréhension du comportement des NP dans l'air et dans l'organisme.

Prévention

La production et l'utilisation des NP peuvent impliquer différents types de risques : incompatibilités chimiques, incendies, explosions, risques électriques, les effets sur la santé, etc.

L'élaboration et la mise en place d'un programme de prévention devront couvrir différents aspects : l'identification et l'évaluation des risques spécifiques aux NP

utilisées ou produites, l'évaluation des niveaux d'exposition professionnelle, les critères et les procédures permettant l'installation de contrôles d'ingénierie, l'information et la formation des travailleurs (risques, procédures de travail, utilisation des équipements, manipulation des NP, mesures de prévention et utilisation des équipements de protection individuels...) et l'évaluation de la performance et de l'efficacité des différentes stratégies de contrôle des expositions constituent quelques incontournables. La forme du matériel (poudre, suspension ou inclusion dans une matrice) de même que les risques spécifiques connus (toxicité, grande réactivité, inflammabilité, explosibilité) doivent être considérés dans le programme de prévention, notamment à partir de l'étude des fiches signalétiques des fournisseurs.

Métrie (mesure)

Il existe de nombreuses techniques pouvant être utilisées pour la détection des NP. La plupart d'entre elles ont des limitations et nécessitent une meilleure sensibilité et une capacité accrue. L'évaluation de l'exposition aux NP devrait pouvoir être réalisée avec des instruments portables et pratiques en milieu de travail, mais c'est difficilement réalisable actuellement.

Une norme ISO est actuellement en développement dont une partie concerne la métrologie et l'instrumentation.

Réglementation

La loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST) et le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) couvrent les aspects généraux des obligations en termes d'élaboration de programmes de prévention des établissements et de contrôle des contaminants dans le milieu de travail.

Plusieurs substances chimiques qui entrent dans la composition de plusieurs nanomatériaux sont déjà présentes dans l'annexe I. Mais la réglementation ne tient pas compte de la granulométrie des particules ou de la possibilité de toxicité différente en fonction de cette granulométrie.

Le système d'information sur les matières dangereuses utilisées en milieu de travail (SIMDUT) est un système canadien auquel adhère le Québec et qui oblige les fournisseurs à étiqueter les substances chimiques et à produire des fiches signalétiques décrivant les différents produits, leurs principales caractéristiques physiques, les risques à la santé, à la sécurité et les mesures préventives à mettre en place. Les employeurs doivent rendre les fiches disponibles et former leurs travailleurs. Plusieurs autres lois provinciales ou fédérales, tel le transport des matières dangereuses, peuvent s'appliquer aux NP tout comme elles s'appliquent aux autres substances chimiques mais aucune loi, à notre connaissance, ne porte spécifiquement sur les NP.

Conclusion

La problématique « nanotechnologie » a commencé à faire son entrée et à poser des questions concernant l'environnement, la santé et plus particulièrement la *santé au travail*.

En milieu de travail, elle implique des expositions à une diversité de nanoparticules et de procédés pour lesquels notre vision n'est pas encore assez éloignée pour nous permettre d'avoir une bonne appréciation de l'ensemble du phénomène, c'est-à-dire que nous n'avons pas encore assez de recul, et ce malgré qu'elles soient présentes dans notre quotidien et de plus en plus envahissantes. Il est encore prématuré de préciser son impact sur la santé puisque l'on ne peut prévoir les produits qui prendront une part importante du marché, donc qui seront utilisés plus ou moins fréquemment et en plus ou moins grande quantité par les travailleurs.

Les dangers lors de certaines activités peuvent nous apparaître moins préoccupants car ils impliquent généralement des travailleurs formés et informés, p. ex. : ceux œuvrant en recherche et développement. Par contre, il en est autrement lorsqu'il s'agit d'activités telles que l'ensachage, le transport, la construction, la récupération, le nettoyage, l'entretien, etc.

Il y a peu de données disponibles concernant la toxicité des nanoparticules et encore moins concernant les produits commerciaux et les produits manufacturés composés de NP ou issus de procédés utilisant les nanotechnologies.

L'IRSST a dressé un bilan des connaissances scientifiques sur les NP et mentionne dans son étude concernant *Les effets à la santé reliés aux nanoparticules* que « ...compte tenu des nombreuses inconnues reliées aux nanoparticules, à leurs effets potentiels sur la santé et aux risques documentés de toxicité des particules ultrafines chez l'homme, l'instauration de procédures strictes de prévention demeure la seule façon de prévenir tout risque de développement de maladies professionnelles. Ainsi, les populations potentiellement exposées aux nanoparticules doivent être prudentes et appliquer des mesures sécuritaires d'élimination à la source, de contrôle de l'exposition et de protection individuelle, aussi bien au niveau de la production que de la mise en œuvre et de l'utilisation de ces produits. »

Juillet 2008

Pour en savoir plus* :

- Canadian NanoBusiness Alliance <http://www.nanobusiness.ca/overview.php>
- Institut national de nanotechnologie
http://nint-innt.nrc-cnrc.gc.ca/about/index_f.html
- NanoQuébec http://nanoquebec.ca/nanoquebec_w/site/index.jsp
- NIOSH. Interim Guidance on Medical Screening of Workers Potentially Exposed to Engineered Nanoparticles Docket # NIOSH-115. (2007)
<http://www.cdc.gov/niosh/review/public/115/>
- Organisation Internationale de Normalisation. Nanotechnologies, comité technique 229.
http://www.iso.org/iso/fr/iso_technical_committee?commid=381983
- Ostiguy, C. *Nanotechnologie : vers la prochaine réunion industrielle*. Travail et santé. Vol. 23, no 4, 2007, p. 11-14. Cote : AP-600268
- Ostiguy, C. et al., *Les nanoparticules : connaissances actuelles sur les risques et les mesures de prévention en santé et en sécurité du travail*. Études et recherches / Rapport. Montréal : IRSST. (2006). R-455. [MO-027143] <http://www.irsst.qc.ca/>
- Ostiguy, C. et al., *Les effets à la santé reliés aux nanoparticules*. Études et recherches / Rapport. Montréal : IRSST. (2008). R-558, 2^e éd. [MO-027142] <http://www.irsst.qc.ca/>
- Trottier, E. et al. *Éthique et nanotechnologies : se donner les moyens d'agir*. Commission de l'éthique de la science et de la technologie (2006), 121 p. [MO-027492]
http://www.ethique.gouv.qc.ca/IMG/pdf/Avis-Ethique_et_nano_WEB.pdf
- Truchon, G. et al., *La recherche en nanotechnologie. Par où commencer ?* Travail et santé. Vol. 24/ no 2, 2008, p. 32-35. [AP-600659]
- Organisation Internationale de Normalisation. Nanotechnologies, comité technique 229.
http://www.iso.org/iso/fr/iso_technical_committee?commid=381983

* La cote entre [] provient de la banque ISST du Centre de documentation de la CSST.