

*Crédit photo : Hinkle Group, reproduit sous licence CC BY-NC-ND 2.0*

# Nanomatériaux : appliquer le principe de précaution

## Nanodimensions : de nouvelles découvertes sur des matériaux bien connus

En 2016, le prix Nobel de chimie a été décerné à Jean-Pierre Sauvage, Sir James Fraser Stoddart et Bernard Lucas Feringa pour les travaux qu'ils mènent depuis trente ans sur la conception et la synthèse de machines moléculaires, qui ont abouti à la création d'une « voiture » de quatre nanomètres de long, dont les quatre roues sont animées par des moteurs moléculaires<sup>1</sup>. Les scientifiques continuent de repousser les limites et de développer de nouvelles technologies ; ils ont ainsi réussi à mettre au point des innovations qui dépassent les limites physiques et dont les applications dans la vie quotidienne sont incalculables. Les récents progrès accomplis dans les nanotechnologies et les nanosciences ont conduit à l'émergence de matériaux nanométriques dotés de propriétés physiques et chimiques susceptibles de transformer notre monde<sup>2,3,4</sup>.

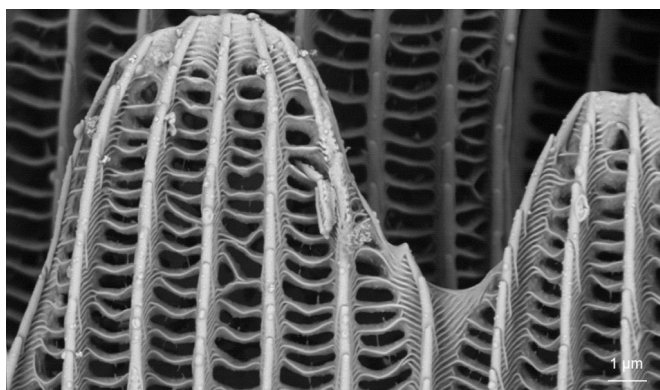
Les nanomatériaux sont composés de particules nanométriques dont au moins une dimension est inférieure à 100 nanomètres. Un nanomètre correspond à un milliardième de mètre : c'est près de 80 000 fois plus petit qu'un cheveu. Les nanomatériaux ne sont pas nouveaux et ne sont pas tous synthétiques ; ils existent naturellement et sont présents partout. La nouveauté, en revanche, réside dans notre capacité à les fabriquer à partir de matériaux communs dans un but fonctionnel.

Dans la nature, les nanomatériaux sont présents dans les squelettes des planctons et coraux marins, dans les becs et les plumes des oiseaux, dans les poils et la matrice osseuse des animaux, y compris de l'être humain, dans les toiles d'araignées, les ailes et les écailles, et même dans le papier, la soie et le coton. Il existe également des nanomatériaux naturels non organiques, comme certaines argiles, les cendres volcaniques, la suie, la poussière interstellaire et certains minéraux. Les nanomatériaux naturels découlent de processus chimiques, photochimiques, mécaniques, thermiques et biologiques<sup>5,6</sup>.



Des études suggèrent que certaines méthodes de préparation utilisées dans la médecine traditionnelle, telle que la calcination, produisent accidentellement des nanomatériaux dotés de leurs caractéristiques particulières<sup>7,8</sup>. Par ailleurs, des chercheurs examinent actuellement des armes médiévales, telles que des épées en acier de Damas, pour vérifier la théorie selon laquelle les techniques de forgeage et de recuit spécifiques et ritualisées reposaient en partie sur la production de nanomatériaux pour améliorer la solidité et la flexibilité de l'acier<sup>9,10</sup>.

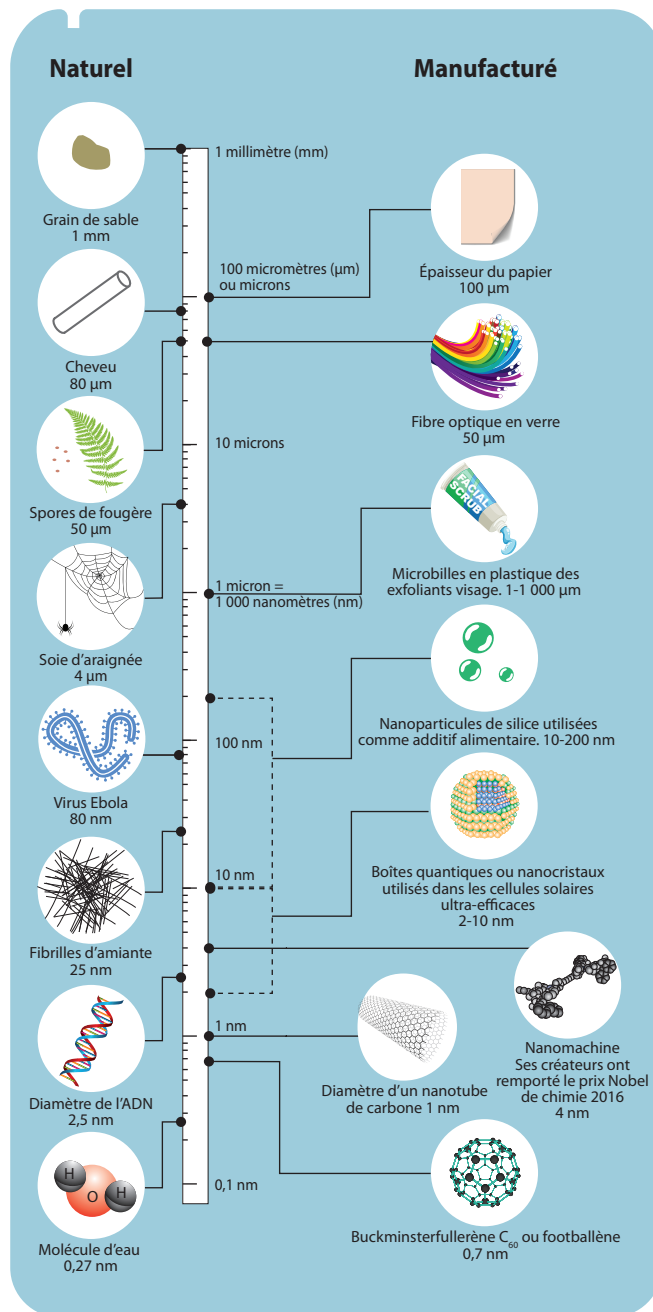
Dans le domaine industriel, les nanomatériaux sont délibérément conçus et synthétisés à des fins optiques, électroniques, mécaniques, médicales et enzymatiques spécifiques au moyen de différentes techniques de microfabrication. Aujourd'hui, les nanomatériaux sont largement utilisés dans de nombreux produits, comme les denrées alimentaires, les cosmétiques, les produits d'hygiène, les agents antimicrobiens, les désinfectants, les vêtements et les appareils électroniques. Parallèlement à l'effervescence suscitée par les possibilités que les nanomatériaux manufacturés pourraient offrir, des questions se posent quant à l'innocuité environnementale de ces derniers, à leur production et à leurs applications. Le déficit d'informations sur le potentiel et les éventuels effets des nanomatériaux est encore considérable. Bien que de nouveaux nanomatériaux ne cessent d'être conçus, nous n'en savons probablement pas assez sur leurs effets à long terme sur la santé ou l'environnement pour les utiliser sans prendre des mesures de protection accrues.



Micrographie d'une écaille d'aile de papillon (*Pieris brassicae*) prise à 5 kV à l'aide d'un détecteur d'électrons rétrodiffusés basse tension. Ce dernier complète la performance basse tension de l'EVO® HD.

Vue nanométrique d'une écaille d'aile de pieride du chou (*Pieris brassicae*)

Crédit photo : ZEISS Microscopy, reproduit sous licence CC BY-NC-ND 2.0

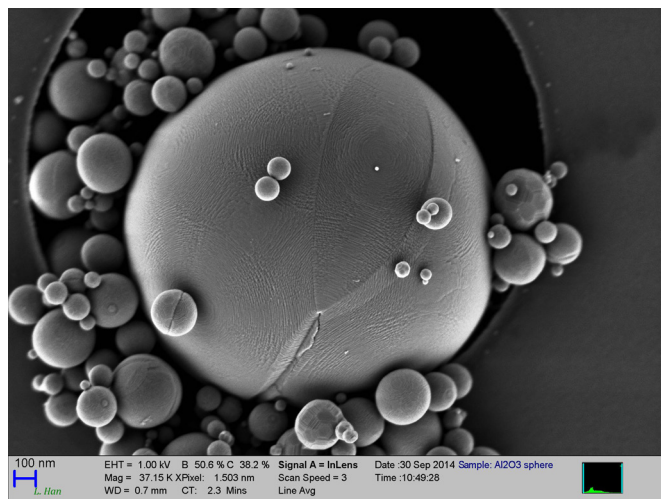




## Formes, applications et effets spécifiques

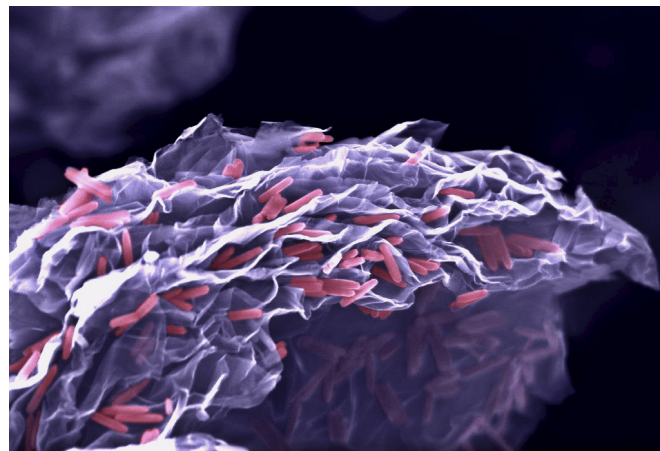
Dans *Les Aventures d'Alice au pays des merveilles* de Lewis Carroll, la jeune Alice boit une potion qui la rend minuscule. Grâce à sa nouvelle taille, elle parvient à entrer dans l'univers d'animaux et de personnages aux comportements extraordinaires, bien différents de leurs semblables de grande taille. À l'échelle nanométrique, les propriétés et comportements physiques, chimiques, optiques, magnétiques et électriques des matériaux sont radicalement différents de ceux de leurs homologues de plus grande taille, en raison de l'augmentation spectaculaire du rapport surface/volume et de l'apparition d'effets quantiques à mesure que la taille du matériau diminue. Créer une version nanométrique d'un matériau peut lui conférer des propriétés qu'il ne posséderait pas autrement. Par exemple, à l'état massif, l'or est diamagnétique (c'est-à-dire qu'il ne répond que très faiblement à un champ magnétique), mais les nanoparticules d'or possèdent des propriétés magnétiques inhabituelles<sup>11</sup>.

Comme à l'état massif, des métaux tels que l'argent, le titane, le zinc et leurs oxydes sont utilisés sous forme nanométrique dans les crèmes solaires, les dentifrices, les cosmétiques, les produits alimentaires, les peintures et les vêtements<sup>12</sup>. Grâce à ses propriétés antimicrobiennes, le nano-argent est largement employé dans de nombreux produits de consommation comme les vêtements de sport, les chaussures, les déodorants, les produits de toilette, la lessive et les machines à laver.



Nanosphères d'oxyde d'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Crédit photo : ZEISS Microscopy, reproduit sous licence CC BY-NC-ND 2.0



Nanotiges d'oxyde de fer (III) ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), développées sur de l'oxyde de graphène réduit pour créer des supercondensateurs

Crédit photo : Dilek Ozg/Engineering at Cambridge, reproduit sous licence CC BY-NC-ND 2.0

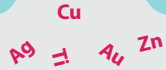
Les nanodiamants possédant des caractéristiques fonctionnelles grâce auxquelles ils peuvent traverser la barrière hémato-encéphalique, ils permettent d'administrer des médicaments de manière ciblée afin de traiter de nombreuses tumeurs cancéreuses<sup>13,14</sup>. En raison de leur fluorescence et de leurs propriétés optiques et électrochimiques, les nanodiamants sont utilisés dans les techniques avancées de bio-imagerie ; ce sont en outre des matériaux prometteurs pour la transmission de signaux révélateurs de l'état des fonctions cérébrales<sup>15,16</sup>.

Les nano-enzymes sont des nanomatériaux dotés de propriétés intrinsèques semblables à celles des enzymes, conçus à des fins de biodétection, de bio-imagerie, de diagnostic des tumeurs et de traitement<sup>17</sup>. Ils sont également utilisés dans les peintures marines antisalissure, ainsi qu'à des fins d'élimination des polluants et de surveillance de l'environnement.

Les nanomatériaux carbonés se présentent sous différentes tailles et formes. Le graphène est un feuillet constitué d'une seule épaisseur d'atomes de carbone. Les nanotubes de carbone sont essentiellement des feuillets de graphène roulés sur eux-mêmes, formant ainsi des cylindres creux sans raccord d'un diamètre de l'ordre du nanomètre<sup>18</sup>. Par ailleurs, le buckminsterfullerène, également appelé footballène, est une structure sphérique constituée de 60 atomes de carbone découverte en 1985, qui doit son nom à Richard Buckminster Fuller, inventeur du dôme géodésique.

# Nanomatériaux

## Qu'est-ce que c'est ?



Les **nanomatériaux** sont **présents à l'état naturel**, mais peuvent aussi être **fabriqués** en reproduisant à taille nanométrique des matériaux couramment utilisés comme le carbone, les oxydes métalliques et les métaux précieux.

À l'échelle nanométrique, les **propriétés et comportements** d'un matériau changent radicalement de ceux du même matériau à l'état massif. Ce changement est dû à l'augmentation du **rapport surface/volume** et aux **effets quantiques**.

Les **nanomatériaux** sont des matériaux formés de particules dont au moins une dimension externe mesure **moins de 100 nanomètres**. Un nanomètre est égal à un milliardième de mètre.



### Marché mondial des nanomatériaux

**20,7%** de croissance annuelle

Devrait représenter **55 milliards d'USD** d'ici à 2022



Matériau à l'état massif



Matériau nanométrique



À mesure que la taille du matériau diminue, son rapport surface/volume augmente, ce qui le rend plus réactif à son milieu environnant sur le plan chimique.

Les dimensions minuscules et le rapport surface/volume élevé qui confèrent aux nanomatériaux manufacturés leurs remarquables propriétés **modifient également la manière dont ils interagissent** avec les systèmes biologiques et s'accumulent dans ces derniers, à savoir l'environnement, les organismes vivants, les organes, les cellules, et même l'ADN.

Par exemple, les nanotubes de carbone ont une apparence et un comportement similaire à ceux des fibres d'amiante. Grâce à leur structure longue et pointue, ils peuvent pénétrer les tissus et entraîner une inflammation et une fibrose, tout comme l'exposition à l'amiante. Le nano-argent peut causer des troubles du système immunitaire et de l'expression génétique.

Modifier les propriétés d'un matériau en le fabriquant à l'échelle nanométrique peut **accroître ses effets sur la santé et l'environnement**.



## Effets néfastes



Pour tirer parti de toutes les possibilités des nanomatériaux manufacturés, nous devons aussi **anticiper leurs conséquences** ; dans le cas contraire, nous risquons de faire face à des dangers bien plus grands dans l'avenir.

Il est nécessaire d'établir des cadres réglementaires adaptés et itératifs qui **appliquent le principe de précaution** afin de réduire au maximum les risques et de protéger la santé humaine et l'environnement.



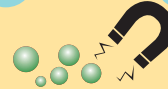
Le **nano-argent** est présent dans de nombreux produits, comme les textiles, les jouets, les produits de toilette et de santé, les appareils médicaux et la nourriture, du fait de ses propriétés antimicrobiennes.



Les **nanodiamants** sont utilisés en imagerie biomédicale en raison de leurs propriétés lumineuses, de leur grande stabilité chimique et de leur biocompatibilité.



Les propriétés **mécaniques, magnétiques, électriques et optiques** uniques des nanomatériaux offrent d'innombrables applications dans différents domaines : pharmaceutique, biomédical, électronique et ingénierie des matériaux.



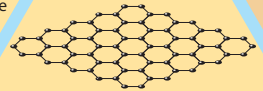
En raison de leurs propriétés magnétiques, les **nanoparticules d'oxyde de fer** présentent un formidable potentiel pour l'administration ciblée de médicaments dans le traitement du cancer, les techniques d'imagerie médicale et l'élimination de l'arsenic de l'eau.



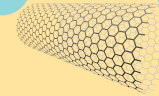
Cette molécule semblable à un ballon de football, composée de 60 atomes de carbone et connue sous le nom de **buckminsterfullerène** ( $C_{60}$ ) ou footballène, pourrait permettre de soigner la dégénérescence des os et du cartilage, ainsi que les troubles musculo-squelettiques et de la moelle osseuse.



Les nanomatériaux manufacturés sont présents dans de **nombreux produits de consommation**, p. ex. denrées alimentaires, cosmétiques, désinfectants, ustensiles de cuisine, produits pour bébés, vêtements, tissus, appareils électroniques et électroménagers.



Le **graphène** est un feuillet d'atomes de carbone d'une épaisseur d'un atome. Il pourrait être utilisé pour l'administration de médicaments, le transport moléculaire, l'ingénierie tissulaire et la pose d'implants.



Un **nanotube de carbone** est un feuillet constitué d'une couche unique d'atomes de carbone roulé sur lui-même pour former un cylindre continu. Il est 117 fois plus solide que l'acier à diamètre égal. C'est aussi un meilleur conducteur que le cuivre.



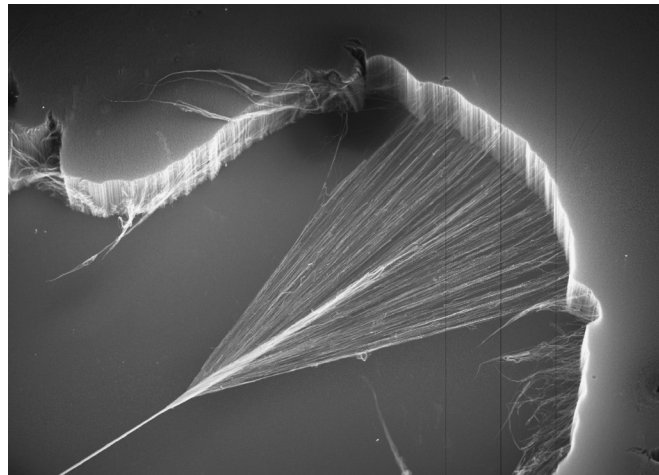
Les nanotubes de carbone sont fréquemment utilisés dans les batteries lithium-ion, les pales de turbines éoliennes légères et les câbles de transmission de données. Ils pourraient également être utilisés pour l'ingénierie et la régénération tissulaires, et comme marqueurs biologiques du cancer.

Les nanotubes de carbone possèdent des propriétés exceptionnelles. Ils sont plus solides que l'acier, sont de meilleurs conducteurs que le cuivre et ont une conductivité thermique plus élevée que les diamants. Ils sont fréquemment utilisés dans les batteries lithium-ion des ordinateurs portables et des téléphones mobiles, les pales de turbines éoliennes légères, les coques de bateaux, les câbles de transmission de données, les biocapteurs et les appareils médicaux<sup>19</sup>. La capacité de production commerciale mondiale de nanotubes de carbone dépasse à présent plusieurs milliers de tonnes par an.

À mesure que les nanomatériaux manufacturés remplacent les matériaux traditionnels dans les produits du quotidien, il est essentiel de déterminer leurs effets néfastes. Pour tirer parti de toutes les possibilités des nanomatériaux, nous devons aussi anticiper leurs conséquences sur la santé et l'environnement ; dans le cas contraire, nous risquons de faire face à des dangers bien plus grands dans l'avenir<sup>20</sup>.

Modifier les propriétés d'un matériau en le fabriquant à l'échelle nanométrique peut accroître ses effets sur la santé et l'environnement. La toxicité du nano-argent, par exemple, peut entraîner de l'argyrie (une affection donnant à la peau une couleur bleu métallique permanente), une inflammation pulmonaire, une altération des fonctions organiques et des troubles du système immunitaire et de l'expression génétique<sup>12,21,22</sup>. L'exposition aux nanoparticules d'argent peut créer une pression et ainsi provoquer des modifications génétiques chez les bactéries, ce qui peut contribuer au développement de gènes de résistance aux antimicrobiens<sup>12,23</sup>. Les dioxydes de silicium et de titane peuvent, quant à eux, causer des inflammations pulmonaires<sup>24</sup>.

Parallèlement à la découverte permanente de nouvelles applications thérapeutiques et biomédicales pour les fullerènes, y compris les footballènes  $C_{60}$ , ces incroyables nanomatériaux font l'objet d'études visant à déterminer leurs effets possibles sur les cellules, l'expression génétique, la fonction immunitaire, le métabolisme et la fécondité<sup>25</sup>. Par ailleurs, il a été démontré que les nanotubes et nanofibres de carbone pouvaient endommager les tissus cutanés, oculaires, pulmonaires et cérébraux, et s'accumuler dans le corps<sup>26,27</sup>.

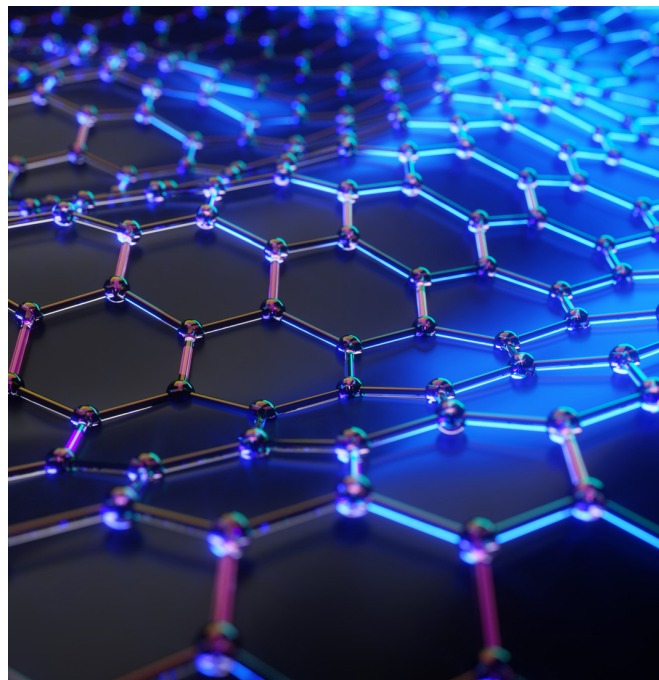


Tissage de nanotubes de carbone pour former un fil

*Credit photo : Organisation de recherche scientifique et industrielle du Commonwealth (CSIRO)*



**Vidéo : Graphène – le matériau du futur**



Lien de la vidéo (en anglais) : <https://www.youtube.com/watch?v=1Fo2xShvtj0>

*Credit photo : Olive Tree/Shutterstock.com*

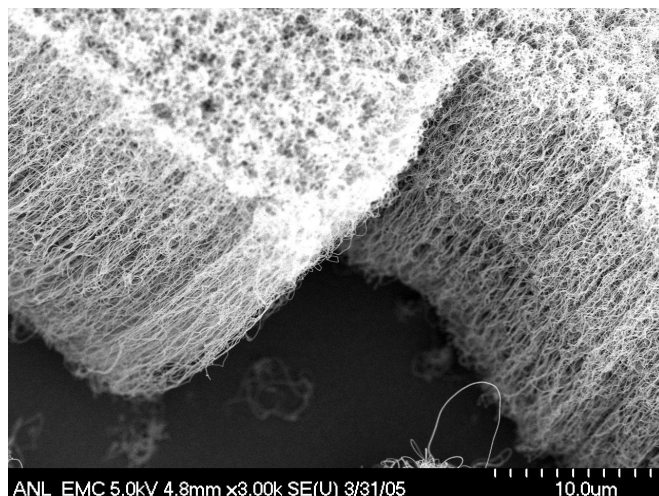
© DW Tomorrow Today



## Exposition aux nanomatériaux manufacturés : risques pour la santé et l'environnement

Le marché mondial des nanotechnologies devrait enregistrer une croissance d'environ 18 % par an et représenter près de 174 milliards de dollars US d'ici à 2025<sup>28</sup>. L'accroissement de la production et de l'utilisation des nanomatériaux manufacturés par différentes industries entraînera vraisemblablement leur rejet involontaire dans l'environnement au cours du cycle de vie du produit<sup>29</sup>. Par exemple, le nano-argent utilisé dans les vêtements et les tissus est rejeté au cours du lavage ; les nanoparticules de dioxyde de titane contenues dans les peintures et les matériaux de construction finissent par se répandre dans l'air et l'eau sous l'effet du climat ; les nanotubes de carbone sont transportés dans l'air lors de la production ou s'échappent des batteries lithium-ion mises au rebut et atteignent les sols et les eaux souterraines<sup>19,30,31</sup>.

Afin d'évaluer les risques éventuels pour la santé et l'environnement, il est indispensable d'en savoir plus sur l'exposition aux nanomatériaux manufacturés et les effets néfastes de ces derniers<sup>32</sup>. À l'heure actuelle, peu d'études expliquent le devenir des nanomatériaux manufacturés une fois qu'ils ont été libérés dans l'atmosphère, le sol, les sédiments, l'eau et le biote. Ainsi, on en sait peu sur leur comportement, leur concentration, leurs déplacements, leur répartition, leurs transformations, leur biodisponibilité, leur bioaccumulation dans les chaînes alimentaires et leurs interactions biochimiques avec les communautés biologiques<sup>29,33-36</sup>.



Nanotubes de carbone alignés

Crédit photo : Junbing Yang/Argonne National Laboratory, reproduit sous licence CC BY-NC-SA 2.0

En revanche, de plus en plus de données et de preuves confirment la toxicité des nanomatériaux. Les résultats des études révèlent que les nanomatériaux peuvent avoir de nombreux effets néfastes sur la santé. Des études de toxicité comparatives portant sur des matériaux, des particules et des fibres familières comme l'amiante, les particules ultrafines et les fumées d'échappement diesel, possédant des formes et des caractéristiques chimiques semblables à celles des nanomatériaux, nous donnent des indications sur les risques éventuels pour la santé découlant de l'exposition aux nanomatériaux<sup>37</sup>. En outre, ce que nous avons appris en manipulant ces substances dangereuses bien connues peut également nous aider à mieux anticiper les risques des nanomatériaux que nous comprenons moins.

Les nanotubes de carbone possèdent des caractéristiques semblables à celles des fibres d'amiante<sup>38</sup>. Tous deux possèdent une forme d'aiguille et persistent dans l'organisme. Ils peuvent passer à travers les tissus pulmonaires et causer une inflammation<sup>39</sup>. La preuve des risques de l'amiante pour la santé a été apportée dès 1898 par Lucy Deane, l'une des premières femmes chargées d'inspecter les usines au Royaume-Uni<sup>40</sup>. Elle a signalé que la manipulation de l'amiante représentait un danger certain pour la santé des ouvriers en raison de cas avérés de blessures bronchiques et pulmonaires médicalement attribuées au travail de la personne atteinte.



Fibres d'amiante grossies 1 500 fois par microscopie électronique à balayage

Crédit photo : US Centers for Disease Control and Prevention/John Wheeler/Janice Haney Carr



Ouvrières allongées sur les matelas d'amiante qu'elles ont fabriqués dans une usine du Lancashire, Royaume-Uni, septembre 1918

Crédit photo : © Imperial War Museum (Q 28250)

Un documentaire télévisé diffusé en 1982 et intitulé *Alice, a Fight for Life* (Alice : un combat pour la vie) raconte l'histoire d'Alice Jefferson, une femme de 47 ans qui a développé un mésothéliome, une forme fatale de cancer, après avoir travaillé dans une usine d'amiante pendant quelques mois, au Royaume-Uni<sup>20</sup>. Le cas d'Alice a eu des répercussions immédiates sur l'opinion publique britannique. Le gouvernement a réagi en adoptant une loi imposant l'obtention d'une autorisation pour travailler avec de l'amiante et abaissant les limites d'exposition. Un système d'étiquetage volontaire a rapidement été mis en place par la suite. La pression s'est intensifiée et les preuves scientifiques démontrant le lien entre les nombreux cas de mésothéliome et l'exposition à l'amiante se sont accumulées<sup>41</sup>.

Ce n'est qu'en 1999 que tous les types d'amiante ont été interdits au Royaume-Uni, soit 101 ans après les premières preuves de la toxicité de l'amiante et à la suite de milliers de victimes de l'asbestose ou de cancers associés. Aujourd'hui, les efforts se poursuivent pour réduire au maximum les risques courus par les ouvriers qui travaillent sur des chantiers de rénovation ou d'entretien de bâtiments contenant de l'amiante<sup>42</sup>.

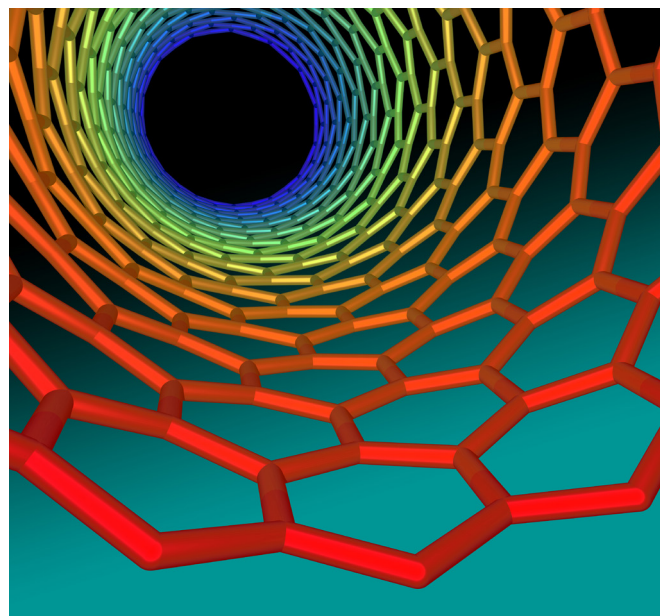
La question que nous devons nous poser est la suivante : quels enseignements pouvons-nous tirer d'un siècle de lutte à comprendre et à contrer les dangers mortels liés à l'exposition à l'amiante, afin de gérer au mieux les nanomatériaux et de garantir leur innocuité à l'avenir ?

### Adopter des réglementations adéquates pour protéger la santé et l'environnement

Grâce à notre expérience de l'amiante et d'autres matériaux dangereux, nous savons que la liste des risques potentiels est longue. L'exposition de l'environnement aux nanomatériaux manufacturés est inévitable. Leurs effets néfastes et leur persistance pourraient avoir des conséquences non négligeables sur les organismes, les écosystèmes et les chaînes alimentaires<sup>32,35,43,44</sup>. L'exposition orale, cutanée ou pulmonaire pourrait entraîner une inflammation et une fibrose, perturber le métabolisme et les fonctions organiques, et causer des dommages à l'ADN ainsi qu'une instabilité génétique<sup>22,26,45,46</sup>.

Le développement industriel est bien plus rapide que la mise en place de réglementations. En l'absence de suivi à long terme et en raison du manque de données scientifiques sur les nombreux aspects liés à la toxicologie et à la toxicité des nanomatériaux, l'adoption de réglementations spécifiques est lente, bien que les signes témoignant de la dangerosité des nanomatériaux et des risques liés à l'exposition à ceux-ci soient de plus en plus nombreux<sup>47</sup>.

### ▶ Vidéo : Les nanotubes de carbone sont-ils l'amiante de demain ?



Lien de la vidéo (en anglais) : <https://www.youtube.com/watch?v=6L7xXgWcbrQ> © Museum of Life and Science  
Crédit photo : Geoff Hutchison, reproduit sous licence CC BY 2.0

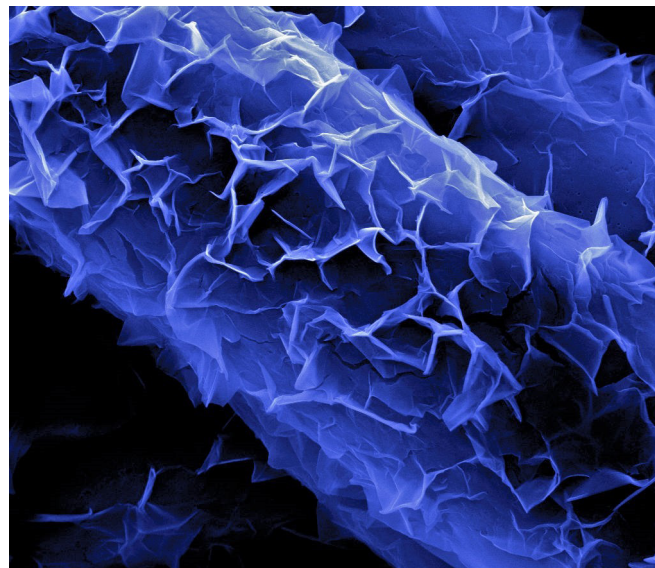


Comme dans le cas de l'amiante, les premières personnes exposées aux nanomatériaux sont celles qui les manipulent dans le cadre de leur travail. Les premières études menées à la fin des années 1990 et au début des années 2000 afin d'évaluer l'exposition professionnelle aux nanotubes de carbone ont ouvert la voie à d'autres enquêtes sur les lieux de travail. Par la suite, une norme ISO contenant des lignes directrices relatives à la caractérisation des expositions aux nanoaérosols au travail a été adoptée en 2007<sup>48,49</sup>.

Des animaux exposés à des nanotubes et à des nanofibres de carbone dans le cadre d'études ont notamment développé des inflammations pulmonaires, des granulomes et des fibroses ; l'Institut national américain pour la sécurité et la santé au travail (National Institute for Occupational Safety and Health) a jugé ces conclusions assez significatives pour justifier des mesures visant à définir une limite d'exposition recommandée<sup>22</sup>. Par ailleurs, l'Organisation de coopération et de développement économiques a mis en place des programmes pluriannuels visant à générer des données toxicologiques sur toute une gamme de nanomatériaux, afin de modifier les lignes directrices existantes pour les essais à destination des fabricants<sup>50</sup>.

Compte tenu de l'étendue des applications, les organismes de réglementation doivent s'appuyer sur les lois existantes en matière de produits chimiques, de médicaments, de cosmétiques, d'alimentation, de pollution, de déchets et d'étiquetage pour définir des dispositions concernant les nanomatériaux<sup>51</sup>. Cependant, il peut être difficile d'appliquer les cadres réglementaires existants aux nanomatériaux<sup>47</sup>. Par exemple, le fait de réduire la taille d'un matériau n'implique pas nécessairement de revoir la législation ou les réglementations existantes si les matériaux à l'échelle nanométrique et à l'état massif sont composés de la même substance chimique. En outre, certains produits de consommation ne sont pas soumis à des exigences de sécurité et peuvent être commercialisés sans qu'aucun test n'ait été réalisé au préalable.

Dans l'Union européenne (UE), le règlement concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH) sert à protéger la santé humaine et l'environnement de toute substance chimique fabriquée et commercialisée dans l'UE. Les entreprises doivent d'abord enregistrer les substances chimiques qu'elles envisagent de fabriquer et de commercialiser. Elles doivent ensuite montrer, en s'appuyant sur les directives spécifiques du règlement REACH, comment les risques liés aux substances peuvent être gérés pour protéger la santé et l'environnement<sup>52,53</sup>.



Nanofibres cœur-coquille hiérarchiques de graphène de carbone

Crédit photo : Ranjith Shanmugam/ZEISS Microscopy, reproduit sous licence CC BY-NC-ND 2.0

À l'échelle mondiale, les nanomatériaux sont l'une des questions émergentes abordées par l'Approche stratégique de la gestion internationale des produits chimiques (SAICM), administrée par l'ONU Environnement. Afin de garantir une bonne gestion des nanomatériaux manufacturés, ce cadre directeur accompagne les gouvernements et les parties prenantes internationales vers une simplification de l'échange d'informations sur les nanotechnologies et les nanomatériaux manufacturés et œuvre en faveur de l'établissement de directives juridiques et techniques applicables dans le monde entier<sup>54</sup>.

Dans le domaine des nouvelles technologies, les organismes de réglementation font face à un ensemble de promesses, de risques et d'incertitudes<sup>55</sup>. Afin d'accroître la production et l'utilisation des nanomatériaux manufacturés et d'intensifier la recherche dans ce secteur au niveau mondial, il est nécessaire d'adopter non seulement des politiques porteuses de transformations pour encourager l'innovation et les applications industrielles de chimie verte, mais surtout des cadres réglementaires adaptés et itératifs qui appliquent le principe de précaution pour garantir la sécurité et prévenir toute pollution. Le monde ne peut se permettre d'exploiter les possibilités prometteuses offertes par de nouveaux matériaux sans tenir compte des enseignements du passé concernant les risques et les dommages sur la santé et l'environnement.



## Références bibliographiques

1. Nobel Media AB (2016). *The Nobel Prize in Chemistry 2016 - Popular Information*. Nobel Prize website. [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/2016/popular.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2016/popular.html)
2. UNEP (2007). *GEO Year Book: An Overview of Our Changing Environment*. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://staging.unep.org/yearbook/2007/>
3. UNEP (2010). *UNEP Year Book: New Science and Developments in Our Changing Environment*. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://staging.unep.org/yearbook/2010/>
4. UNEP (2013). *UNEP Year Book: Emerging Issues in Our Global Environment*. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://staging.unep.org/yearbook/2013/>
5. Hochella Jr., M.F., Spencer, M.G. and Jones, K.L. (2015). Nanotechnology: nature's gift or scientists' brainchild? *Environmental Science: Nano*, 2, 114-119. <http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2015/EN/C4EN00145A>
6. Sharma, V.K., Filip, J., Zboril, R. and Varma, R.S. (2015). Natural inorganic nanoparticles – formation, fate and toxicity in the environment. *Chemical Society Reviews*, 44, 8410-8423. <http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2015/CS/C5CS00236B>
7. Pavani, T., Venkateswara Rao, K., Chakra, Ch. S. and Prabhu, Y.T. (2015). Ayurvedic synthesis of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles and its Characterization. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(1), 321-324. <http://inpressco.com/wp-content/uploads/2015/02/Paper57321-324.pdf>
8. Sumithra, M., Raghavendra, Rao, P., Nagaratnam, A. and Aparna, Y. (2015). Characterization of SnO<sub>2</sub> Nanoparticles in the Traditionally Prepared Ayurvedic Medicine. *Materials Today: Proceeding*, 2(9), Part A., 4636-4639. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785315009074>
9. Reibold, M., Paufler, P., Levin, A.A., Kochmann, W., Pätzke, N. and Meyer, D.C. (2006). Materials: Carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre. *Nature*, 444(7117), 286. <https://www.nature.com/nature/journal/v444/n7117/pdf/444286a.pdf>
10. Sanderson, K. (2006). Sharpest cut from nanotube sword. *Nature News*, 15 November 2006. <http://www.nature.com/news/2006/061113/full/news061113-11.html>
11. JASRI (2012). Clarifying the hidden magnetism of gold (Au). Press Release, 23 January 2012. Japan Synchrotron Radiation Research Institute, Kouto. [http://www.spring8.or.jp/en/news\\_publications/press\\_release/2012/120123\\_2/](http://www.spring8.or.jp/en/news_publications/press_release/2012/120123_2/)
12. SCENIHR (2013). *Opinion on Nanosilver: safety, health and environmental effects and role in antimicrobial resistance*. The Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks of the European Union, Luxembourg. [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenihr\\_o\\_039.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_039.pdf)
13. Mochalin, V.N., Shenderova, O., Ho, D. and Gogotsi, Y. (2011). The properties and applications of nanodiamonds. *Nature Nanotechnology*, 7, 11-23. <https://www.nature.com/nnano/journal/v7/n1/pdf/nnano.2011.209.pdf>
14. Xi, G., Robinson, E., Mania-Farnell, B., Vanin, E.F., Shim, K.W., Takao, T., Allender, E.V., Mayanil, C.S., Soares, M.B., Ho, D. and Tomita, T. (2014). Convection-enhanced delivery of nanodiamond drug delivery platforms for intracranial tumor treatment. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 10(2), 381-391. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23916888>
15. Bačáková, L., Brož, A., Lišková, J., Staňková, L., Potocký, S. and Kromka, A. (2016). The Application of Nanodiamond in Biotechnology and Tissue Engineering. In *Diamond and Carbon Composites and Nanocomposites*, M. Aliofkhazraei (ed.). InTech, Rijeka. <https://www.intechopen.com/download/pdf/51099>
16. Waddington, D.E.J., Sarraçanie, M., Zhang, H., Salameh, N., Glenn, D.R., Rej, E., Gaebel, T., Boele, T., Walsworth, R.L., Reilly, D.J. and Rosen, M.S. (2017). Nanodiamond-enhanced MRI via in situ hyperpolarization. *Nature Communications*, 15118. [http://walsworth.physics.harvard.edu/publications/2017\\_Waddington\\_NatureComm.pdf](http://walsworth.physics.harvard.edu/publications/2017_Waddington_NatureComm.pdf)
17. Gao, L., and Yan, X. (2016). Nanozymes: an emerging field bridging nanotechnology and biology. *Science China: Life Science*, 59, 400–402. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11427-016-5044-3.pdf>
18. Aqel, A., El-Nour, K.M.M.A., Ammar, R.A.A. and Al-Warthan, A. (2010). Carbon nanotubes, science and technology part (I) structure, synthesis and characterisation. *Arabian Journal of Chemistry*, 5, 1–23. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535210001747>
19. De Volder, M.F.L., Tawfik, S. H., Baughman, R. H. and Hart, A. J. (2013). Carbon nanotubes: Present and future commercial applications. *Science*, 339(6119), 535-539. <http://science.sciencemag.org/content/339/6119/535/tab-pdf>
20. EEA (2001). *Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896-2000*. EEA Report No. 22. European Environment Agency, Copenhagen. [https://www.eea.europa.eu/publications/environmental\\_issue\\_report\\_2001\\_22/Issue\\_Report\\_No\\_22.pdf](https://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2001_22/Issue_Report_No_22.pdf)
21. De Jong, W.H., Van Der Ven, L.T.M., Sleijffers, A., Park, M.V.D.Z., Jansen, E.H.J.M., Van Loveren, H. and Vandebruiel, R.J. (2013). Systemic and immunotoxicity of silver nanoparticles in an intravenous 28 days repeated dose toxicity study in rats. *Biomaterials*, 34, 8333-8343. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142961213007631>
22. Johnston, H.J., Hutchison, G., Christensen, F.M., Peters, S., Hankin, S. and Stone, V. (2010). A review of the in vivo and in vitro toxicity of silver and gold particulates: Particle attributes and biological mechanisms responsible for the observed toxicity. *Critical Reviews in Toxicology*, 40(4), 328-346. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/10408440903453074?journalCode=itxc20>



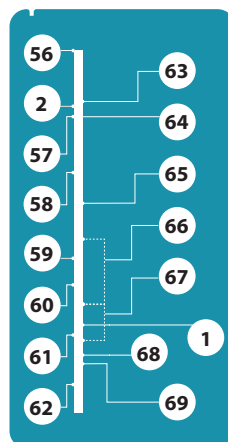
23. Graves Jr., J.L., Tajkarimi, M., Cunningham, Q., Campbell, A., Nonga, H., Harrison, S.H. and Barrick, J.E. (2015). Rapid evolution of silver nanoparticles resistance in *Escherichia coli*. *Frontiers in Genetics*, 6(42), 1-13. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4330922/pdf/fgene-06-00042.pdf>
24. Weir, A., Westerhoff, P., Fabricius, L., Hristovski, K. and von Goetz, N. (2012). Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products. *Environmental Science and Technology*, 46(4):2242-2250. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es204168d>
25. Aschberger, K., Johnston, H.J., Stone, V., Aitken, R.J., Tran, C.L., Hankin, S.M., Peters, S.A. and Christensen, F.M. (2010). Review of fullerene toxicity and exposure--appraisal of a human health risk assessment, based on open literature. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 58, 455-473. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20800639>
26. NIOSH (2013). *Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers*. Current Intelligence Bulletin 65. The Centers for Disease Control/The National Institute for Occupational Safety and Health, Atlanta. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-145/pdfs/2013-145.pdf>
27. Oberdörster, E. (2004). Manufactured Nanomaterials (Fullerenes, C<sub>60</sub>) Induce Oxidative Stress in the Brain of Juvenile Largemouth Bass. *Environmental Health Perspectives*, 112(10), 1058-1062. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1247377/pdf/ehp0112-001058.pdf>
28. Business Wire (2016). Global Nanotechnology Market Worth USD 173.95 Billion by 2025 - Analysis, Technologies & Forecasts Report 2016-2025 - Key Vendors: Acusphere, Glonatech, Isotron - Research and Markets. *Business Wire*, 28 September 2016. <http://www.businesswire.com/news/home/20160928005566/en/Global-Nanotechnology-Market-Worth-USD-173.95-Billion>
29. Lowry, G.V., Bernhardt, E.S., Dionysiou, D.D., Pedersen, J.A., Wiesner, M.R. and Xing, B. (2010). Environmental Occurrences, Behavior, Fate, and Ecological Effects of Nanomaterials: An Introduction to the Special Series. *Journal of Environmental Quality*, 39, 1867-1874. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21284284>
30. Geranio, L., Heuberger, M. and Nowack, B. (2009). The behavior of silver nanotextiles during washing. *Environmental Science & Technology*, 43(21), 8113-8118. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es9018332>
31. Shandilya, N., Le Bihan, O., Bressot, C. and Morgeneyer, M. (2015). Emission of Titanium Dioxide Nanoparticles from Building Materials to the Environment by Wear and Weather. *Environmental Science & Technology*, 49, 2163-2170. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es504710p>
32. Gottschalk, F. and Nowack, B. (2011). The release of engineered nanomaterials to the environment. *Journal of Environmental Monitoring*, 13, 1145-1155. [https://www.researchgate.net/profile/Bernd\\_Nowack/publication/50349175\\_The\\_release\\_of\\_engineered\\_nanomaterials\\_to\\_the\\_environment/links/54c75fc30cf238bb7d0a7d1a/The-release-of-engineered-nanomaterials-to-the-environment.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Bernd_Nowack/publication/50349175_The_release_of_engineered_nanomaterials_to_the_environment/links/54c75fc30cf238bb7d0a7d1a/The-release-of-engineered-nanomaterials-to-the-environment.pdf)
33. Batley, G.E., Kirby, J.K. and McLaughlin, M.J. (2012). Fate and risks of nanomaterials in aquatic and terrestrial environments. *Accounts of Chemical Research*, 46(3), 854-862. [https://www.researchgate.net/publication/228113803\\_Fate\\_and\\_Risks\\_of\\_Nanomaterials\\_in\\_Aquatic\\_and\\_Terrestrial\\_Environments](https://www.researchgate.net/publication/228113803_Fate_and_Risks_of_Nanomaterials_in_Aquatic_and_Terrestrial_Environments)
34. Gardea-Torresdey, J.L., Rico, C.M. and White, J.C. (2014). Trophic Transfer, Transformation, and Impact of Engineered Nanomaterials in Terrestrial Environments. *Environmental Science & Technology*, 48(5), 2526-2540. <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es4050665>
35. Garner, K.L. and Keller, A.A. (2014). Emerging patterns for engineered nanomaterials in the environment: a review of fate and toxicity studies. *Journal of Nanoparticle Research*, 16, 2503. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11051-014-2503-2.pdf>
36. Peijnenburg, W. J. G. M.; Baalousha, M.; Chen, J.; Chaudry, Q.; Von der kammer, F.; Kuhlbusch, T. A. J.; Lead, J.; Nickel, C.; Quik, J. T. K.; Renker, M.; Wang, Z.; Koelmans, A. A. A Review of the Properties and Processes Determining the Fate of Engineered Nanomaterials in the Aquatic Environment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45, 2084-2134. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643389.2015.1010430>
37. Xia, T., Li, N. and Nel, A.E. (2009). Potential Health Impact of Nanoparticles. *The Annual Review of Public Health*. 30, 137-50. <http://annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.publhealth.031308.100155>
38. Poland, C.A., Duffin, R., Kinloch, I., Maynard, A., Wallace, W.A., Seaton, A., Stone, V., Brown, S., Macnee, W. and Donaldson K. (2008). Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nature Nanotechnology*, 3, 423-428. <http://www.nature.com/nnano/journal/v3/n7/pdf/nnano.2008.111.pdf>
39. Nagai, H. and Toyokuni, S. (2012). Differences and similarities between carbon nanotubes and asbestos fibers during mesothelial carcinogenesis: Shedding light on fiber entry mechanism. *Cancer Science*, 103(8), 1378-1390. [https://www.researchgate.net/publication/224924547\\_Differences\\_and\\_similarities\\_between\\_carbon\\_nanotubes\\_and\\_asbestos\\_fibers\\_during\\_mesothelial\\_carcinogenesis\\_Shedding\\_light\\_on\\_fiber\\_entry\\_mechanism](https://www.researchgate.net/publication/224924547_Differences_and_similarities_between_carbon_nanotubes_and_asbestos_fibers_during_mesothelial_carcinogenesis_Shedding_light_on_fiber_entry_mechanism)
40. Deane, L. (1898). *Report on the health of workers in asbestos and other dusty trades*. In HM Chief Inspector of Factories and Workshops, 1899, Annual Report for 1898, 171-172.
41. Peto, J., Hodgson, J.T., Matthews, F.E. and Jones, J.R. (1995). Continuing increase in mesothelioma mortality in Britain. *The Lancet*, 345(8949), 535-539. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7776771>
42. HSE (2017). Asbestos health and safety. The Health and Safety Executive website. <http://www.hse.gov.uk/asbestos/index.htm>
43. Delay, M. and Frimmel, F.H. (2012). Nanoparticles in aquatic systems. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 402(2), 583-592. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00216-011-5443-z.pdf>

44. Du, J., Wang, S., You, H. and Zhao, X. (2013). Understanding the toxicity of carbon nanotubes in the environment is crucial to the control of nanomaterials in producing and processing and the assessment of health risk for human: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 36, 451-462. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/labs/articles/23770455/>
45. Schulte, P.A., Roth, G., Hodson, L.L., Murashov, V., Hoover, M.D., Zumwalde, R., Kuempel, E.D., Geraci, C.L., Stefaniak, A.B., Castranova, V. and Howard, J. (2016). Taking stock of the occupational safety and health challenges of nanotechnology: 2000–2015. *Journal of Nanoparticle Research*, 18, 1–21. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5007006/pdf/nihms812231.pdf>
46. Trouiller, B., Reliene, R., Westbrook, A., Solaimani, P. and Schiestl, R.H. (2009). Titanium dioxide nanoparticles induce DNA damage and genetic instability in vivo in mice. *Cancer Research*, 69(22), 8784-8789. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19887611>
47. Seaton, A., Tran, L., Aitken, R. and Donaldson, K. (2010). Nanoparticles, human health hazard and regulation. *Journal of The Royal Society Interface*, 7, S119-S129. [http://rsif.royalsocietypublishing.org/content/7/Suppl\\_1/S119.long](http://rsif.royalsocietypublishing.org/content/7/Suppl_1/S119.long)
48. Kuhlbusch, T.A.J., Asbach, C., Fissan, H., Göhler, D. and Stintz, M. (2011). Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces: A review. *Particle and Fibre Toxicology*, 8(22), 1-18. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3162892/pdf/1743-8977-8-22.pdf>
49. ISO (2007). ISO/TR 27628:2007 Workplace atmospheres - Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols - Inhalation exposure characterization and assessment. International Organization for Standardization, Geneva. <https://www.iso.org/standard/44243.html>
50. OECD (2016). *Single walled carbon nanotubes (SWCNTs): Summary of the dossier*. OECD Environment, Health and Safety Publications – Series on the safety of manufactured nanomaterials No.70. The Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2016\)22&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2016)22&doclanguage=en)
51. Charitidis, C.A., Trompeta, A.F., Vlachou, N. and Markakis, V. (2016). Risk management of engineered nanomaterials in EU-The case of carbon nanotubes and carbon nanofibers: A review. *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, 41(1), 1-11. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/tmrj/41/1/41\\_1/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/tmrj/41/1/41_1/_pdf)
52. OECD (2016). *Single walled carbon nanotubes (SWCNTs): Summary of the dossier*. OECD Environment, Health and Safety Publications – Series on the safety of manufactured nanomaterials No.70. The Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2016\)22&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2016)22&doclanguage=en)
53. OECD (2017). Alternative testing strategies in risk assessment of manufactured nanomaterials: current state of knowledge and research needs to advance their use. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials No. 80. The Organisation for Economic

Co-operation and Development, Paris. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/JM/MONO\(2016\)63&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/JM/MONO(2016)63&doclanguage=en)

54. UN Environment (2017). Strategic Approach to International Chemicals Management website. UN Environment, Geneva. <http://www.saicm.org/>
55. ACS-GCI (2014). *Green Chemistry Pocket Guide*. American Chemistry Society – Green Chemistry Institute, Washington DC. <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/greenchemistry/resources/the-12-principles-of-green-chemistry-pocket-guide.pdf>

## Références bibliographiques des illustrations



56. Alden, A. (2017). All About Sediment Grain Size. *ThoughtCo*, 5 June 2017. <https://www.thoughtco.com/all-about-sediment-grain-size-1441194>
57. Walker, W.F., Yatskievych, G., Mickel, J.T., and Wagner, W. (2016). Fern. *Encyclopædia Britannica*, 18 October 2016. <https://www.britannica.com/plant/fern/Shape>
58. Du, N., Liu, X.Y., Narayanan, J., Li, L., Lek, M., Lim, M. and Li, Q. (2006). Design of Superior Spider Silk: From Nanostructure to Mechanical Properties. *Biophysical Journal*, 91(12), 4528-4535. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000634950672164658>
59. Aleksandrowicz, P., Marzi, A., Biedenkopf, N., Beimforde, N., Becker, S., Hoenen, T., Feldmann, H. and Schnittler, H.J. (2011). Ebola virus enters host cells by macropinocytosis and clathrin-mediated endocytosis. *Journal of Infectious Diseases*, Supplement 3, S957-S967. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21987776>





60. WHO (2000). *Air quality guidelines for Europe—Second edition*. WHO Regional Publication, European Series No. 91. World Health Organization, Copenhagen. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/74732/E71922.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf)
61. Nano.gov (2017). Size of the nanoscale. United States National Nanotechnology Initiative. <https://www.nano.gov/nanotech-101/what/nano-size>
62. D'Arrigo, J.S. (1978). Screening of membrane surface charges by divalent cations: an atomic representation. *American Journal of Physiology*, 235(3), C109-117. <http://bionumbers.hms.harvard.edu/bionumber.aspx?id=103723&ver=0>
63. Yes Paper (2017). Paper glossary. Yes Paper. <http://www.yes-paper.com/index.php?yespaper=yespaper-paper-glossary>
64. FOA (2015). Guide to fiber optics and premises cabling. The Fiber Optic Association. <http://www.thefoa.org/tech/ref/basic/fiber.html>
65. UNEP (2015). Plastic in cosmetics: Are we polluting the environment through our personal care? United Nations Environment Programme, Nairobi. [http://apps.unep.org/redirect.php?file=/publications/pmtdocuments/-Plastic\\_in\\_cosmetics\\_Are\\_we\\_polluting\\_the\\_environment\\_through\\_our\\_personal\\_care\\_-2015Plas.pdf](http://apps.unep.org/redirect.php?file=/publications/pmtdocuments/-Plastic_in_cosmetics_Are_we_polluting_the_environment_through_our_personal_care_-2015Plas.pdf)
66. Athinarayanan, J., Periasamy, V.S., Alsaif, M.A., Al-Warthan, A.A. and Alshatwi, A.A. (2014). Presence of nanosilica (E551) in commercial food products: TNF-mediated oxidative stress and altered cell cycle progression in human lung fibroblast cells. *Cell Biology and Toxicology*, 30, 89-100. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10565-014-9271-8.pdf>
67. Webb, B. (2006). Quantum dots. <http://ion.chem.usu.edu/~tapaskar/Britt-Quantum%20Dots.pdf>
68. Khan, I., Saeed, K. and Khan, I. (2017). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry* (in press). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535217300990>
69. Locke, W. (1996). Buckminsterfullerene, C<sub>60</sub>. <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/buckyball/c60a.htm>
70. Allied Market Research (2016). Nanomaterials Market by Type (Carbon Nanotubes, Fullerenes, Graphene, Nano Titanium Dioxide, Nano Zinc Oxide, Nano Silicon Dioxide, Nano Copper Oxide, Nano Cobalt Oxide, Nano Iron Oxide, Nano Manganese Oxide, Nano Zirconium Oxide, Nano Silver, Nano Gold, Nano Nickel, Quantum Dots, Dendrimers, Nanoclay, Nanocellulose) and End-user - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2014-2022. Allied Market Research website. <https://www.alliedmarketresearch.com/nano-materials-market>
71. Nicomel, N.R., Leus, K., Folens, K., Van Der Voort, P. and Laing, G.D. (2016). Technologies for Arsenic Removal from Water: Current Status and Future Perspectives. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(62), 1-24. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4730453/pdf/ijerph-13-00062.pdf>
72. Wu, W., Wu, Z., Yu, T., Jiang, C. and Kim, W.S. (2015). Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications. *Science and Technology of Advanced Materials*, 16, 023501. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1468-6996/16/2/023501/pdf>
73. Kostarelos, K. and Novoselov, K.S. (2014). Graphene devices for life. *Nature Nanotechnology*, 9, 744-745. <http://www.nature.com/nnano/journal/v9/n10/full/nnano.2014.224.html>
74. Liu, Q., Cui, Q., Li, X.J. and Jin, L. (2014). The applications of buckminsterfullerene C<sub>60</sub> and derivatives in orthopaedic research. *Connective Tissue Research*, 55(2), 71-79. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4124742/pdf/nihms608096.pdf>
75. Chang, C.C., Hsu, I.K., Aykol, M., Hung, W.H., Chen, C.C. and Cronin, S.B. (2010). A new lower limit for the ultimate breaking strain of carbon nanotubes. *ACS Nano*, 4(9), 5095-5100. <https://pdfs.semanticscholar.org/d072/eaf8c9c9c1730bb211346ac2d1902da369fe.pdf>
76. Eatemadi, A., Daraee, H., Karimkhanloo, H., Kouhi, M., Zarghami, N., Akbarzadeh, A., Abasi, M., Hanifehpour, Y. and Joo, S.W. (2014). Carbon nanotubes: properties, synthesis, purification, and medical applications. *Nanoscale Research Letters*, 9(393), 1-13. <https://neuraldevelopment.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1556-276X-9-393?site=neuraldevelopment.biomedcentral.com>

