



# Spécification technique

**ISO/TS 12901-1**

## Nanotechnologies — Gestion du risque professionnel appliquée aux nanomatériaux manufacturés —

### Partie 1: Principes et approches

*Nanotechnologies — Occupational risk management applied to  
engineered nanomaterials —*

*Part 1: Principles and approaches*

[ISO/TS 12901-1:2024](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/7d450b59-587a-4004-80dd-103d5603d941/iso-ts-12901-1-2024)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/7d450b59-587a-4004-80dd-103d5603d941/iso-ts-12901-1-2024>

**Deuxième édition  
2024-08**

iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO/TS 12901-1:2024](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/7d450b59-587a-4004-80dd-103d5603d941/iso-ts-12901-1-2024)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/7d450b59-587a-4004-80dd-103d5603d941/iso-ts-12901-1-2024>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2024

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8  
CH-1214 Vernier, Genève  
Tél.: +41 22 749 01 11  
E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

<b>Avant-propos</b> .....	<b>v</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>vii</b>
<b>1 Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4 Abréviations</b> .....	<b>4</b>
<b>5 Types et caractéristiques des nanomatériaux</b> .....	<b>5</b>
5.1 Généralités .....	5
5.2 Fullerènes .....	6
5.3 Nanotubes de carbone .....	6
5.4 Graphène .....	6
5.5 Nanofils .....	6
5.6 Points quantiques .....	6
5.7 Métaux et oxydes de métaux, céramiques .....	6
5.8 Noir de carbone .....	7
5.9 Nanoparticules organiques .....	7
5.10 Dendrimères .....	7
5.11 Nanoargiles .....	7
<b>6 Dangers, expositions et risques liés aux nanomatériaux</b> .....	<b>7</b>
6.1 Généralités .....	7
6.2 Risque pour la santé .....	8
6.2.1 Information sur les dangers .....	8
6.2.2 Exposition .....	8
6.3 Risques pour la sécurité .....	11
6.3.1 Information sur les dangers .....	11
6.3.2 Risques d'incendie et d'explosion liés aux NOAA .....	11
<b>7 Approche générale en matière de gestion des risques liés aux NOAA</b> .....	<b>12</b>
<b>8 Identification et compétences de la personne réalisant l'évaluation des risques</b> .....	<b>13</b>
<b>9 Collecte d'informations</b> .....	<b>14</b>
<b>10 Évaluation des risques pour la santé</b> .....	<b>15</b>
10.1 Généralités .....	15
10.2 Évaluation des dangers .....	15
10.3 Évaluation de l'exposition .....	15
10.4 Évaluation et hiérarchisation des risques pour la santé .....	16
10.5 Documentation et revue .....	16
<b>11 Maîtrise du risque</b> .....	<b>17</b>
11.1 Hiérarchie des moyens de maîtrise .....	17
11.2 Moyens de maîtrise .....	17
11.2.1 Généralités .....	17
11.2.2 Élimination .....	17
11.2.3 Substitution/modification .....	17
11.2.4 Enceintes de protection/isolation .....	18
11.2.5 Moyens de maîtrise techniques .....	18
11.2.6 Moyens de maîtrise administratifs .....	18
11.2.7 Équipement de protection individuelle .....	18
11.3 Choix des moyens de maîtrise .....	20
11.3.1 Généralités .....	20
11.3.2 Maîtrise basée sur les dangers .....	20
11.3.3 Gestion graduée des risques et autres approches qualitatives .....	20
11.3.4 Approche de sécurité dès la conception .....	21

# ISO/TS 12901-1:2024(fr)

11.3.5	Approches basées sur l'«état de l'art»	21
11.4	Évaluation de l'efficacité des moyens de maîtrise	21
11.5	Information, instruction et formation	22
<b>12</b>	<b>Méthodes de mesure</b>	<b>23</b>
12.1	Nécessité d'un mesurage	23
12.2	Choix des instruments	23
12.3	Stratégie de prélèvement	26
12.3.1	Prélèvement d'air	26
12.3.2	Prélèvement en surface	28
12.4	Limitations	29
<b>13</b>	<b>Surveillance de la santé</b>	<b>30</b>
<b>14</b>	<b>Déversements et rejets accidentels</b>	<b>30</b>
<b>15</b>	<b>Procédures d'élimination</b>	<b>31</b>
15.1	Généralités	31
15.2	Planification du stockage et de l'élimination de nanomatériaux	32
15.3	Stockage des déchets de nanomatériaux avant leur élimination	33
15.3.1	Généralités	33
15.3.2	Stockage dans des conteneurs à déchets	33
15.3.3	Stockage dans des sacs en plastique	33
15.4	Élimination des déchets de nanomatériaux	34
<b>16</b>	<b>Prévention des incendies et des explosions</b>	<b>34</b>
<b>Annexe A</b> (informative)	<b>Catégories de NOAA</b>	<b>36</b>
<b>Annexe B</b> (informative)	<b>Informations supplémentaires sur l'exposition cutanée et oculaire</b>	<b>37</b>
<b>Annexe C</b> (informative)	<b>Recommandations et articles sur les approches basées sur «l'état de l'art» en matière de moyens de maîtrise</b>	<b>38</b>
<b>Bibliographie</b>		<b>39</b>

ISO/TS 12901-1:2024

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/7d450b59-587a-4004-80dd-103d5603d941/iso-ts-12901-1-2024>

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets). L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir [www.iso.org/avant-propos](http://www.iso.org/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 229, *Nanotechnologies*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO/TS 12901-1:2012), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes:

- des paragraphes ont été mis à jour et de nouvelles références ont été ajoutées pour refléter les résultats des récentes recherches;
- un nouveau paragraphe dédié au graphène a été introduit à [l'Article 5](#);
- [l'Article 6](#) a été restructuré et les risques d'exposition oculaire et d'injection accidentelle ont été ajoutés pour la prise en compte des risques potentiels liés à d'autres voies d'exposition potentielles;
- le [paragraphe 6.3](#) a été complété et réorganisé en deux paragraphes;
- la [Figure 1](#) a été ajoutée à [l'Article 7](#);
- du texte lié à la protection contre l'exposition oculaire a été ajouté en [11.2](#) et des changements substantiels ont été apportés au paragraphe relatif aux équipements de protection individuelle;
- un nouveau paragraphe, [11.3.4](#), axé sur la sécurité dès la conception, a été introduit;
- au [paragraphe 11.3.5](#) concernant les approches basées sur l'«état de l'art», la référence à l'Article A.1 a été supprimée et remplacée par des références à l'ISO/TR 12885 et à d'autres documents pertinents;
- au [paragraphe 11.4](#), qui traite de l'évaluation des moyens de maîtrise, les Articles A.2 à A.4 ont été supprimés et des références à l'ISO/TR 18637:2016 et à d'autres documents pertinents ont été incorporées;

## ISO/TS 12901-1:2024(fr)

- les [Tableaux 1, 2 et 3](#) ont été ajoutés;
- des changements significatifs ont été apportés à [l'Article 15](#);
- les [Annexes A, B et C](#) ont été ajoutées.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 12901 se trouve sur le site Web de l'ISO.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse [www.iso.org/members.html](http://www.iso.org/members.html).

# iTeh Standards (<https://standards.iteh.ai>) Document Preview

[ISO/TS 12901-1:2024](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/7d450b59-587a-4004-80dd-103d5603d941/iso-ts-12901-1-2024>

## Introduction

Le domaine des nanotechnologies continue de connaître des avancées rapides grâce au développement de nouveaux matériaux, produits et applications. En parallèle, de nombreuses questions ont été soulevées quant aux risques potentiels que présentent certains de ces nouveaux nanomatériaux pour la santé humaine et l'environnement. Au niveau international, plusieurs programmes de recherche ont été lancés afin de mieux cerner et quantifier ces risques. Bien que certains travaux de recherche aient déjà été publiés, cet effort devra se poursuivre pendant un certain temps car les personnes impliquées dans le développement et l'utilisation des nanomatériaux ont besoin d'évaluer les risques des nanotechnologies et de mettre en place des approches de management du risque efficaces reposant sur les meilleures preuves disponibles. Il convient que la normalisation internationale sur les nanotechnologies contribue à réaliser les améliorations et la durabilité potentielles que cette technologie peut apporter au monde à travers le développement économique, l'amélioration de la qualité de vie ainsi que l'amélioration et la protection de la santé publique et de l'environnement.

Le présent document soutient cet objectif en décrivant les principes d'un cadre pour le management du risque professionnel pour les nano-objets ainsi que pour leurs agrégats et agglomérats (NOAA) supérieurs à 100 nm. Il donne également des conseils pratiques pour sa mise en œuvre sur la base des meilleures preuves émergentes actuelles concernant les risques potentiels liés aux nanomatériaux. L'ISO/TS 12901-2 décrit une approche spécifique basée sur la gestion graduée des risques afin de faciliter encore plus la mise en œuvre des bonnes pratiques dans ce domaine<sup>[1]</sup>.

Le présent document s'applique à de tels composants, qu'ils existent sous leur forme d'origine ou qu'ils soient incorporés dans des matériaux ou préparations à partir desquels ils pourraient être libérés au cours de leur cycle de vie. Cependant, tout comme de nombreux autres procédés industriels, les procédés nanotechnologiques peuvent générer des sous-produits sous forme de NOAA produits de façon involontaire, qui peuvent être liés à des problèmes de santé et de sécurité qui doivent également être résolus.

(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO/TS 12901-1:2024](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/7d450b59-587a-4004-80dd-103d5603d941/iso-ts-12901-1-2024)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/7d450b59-587a-4004-80dd-103d5603d941/iso-ts-12901-1-2024>



# Nanotechnologies — Gestion du risque professionnel appliquée aux nanomatériaux manufacturés —

## Partie 1: Principes et approches

### 1 Domaine d'application

Le présent document fournit des recommandations sur les mesures de santé et de sécurité au travail relatives aux matériaux qui contiennent et libèrent des NOAA conçus ou manufacturés au cours de leur cycle de vie, y compris l'utilisation de contrôles d'ingénierie et d'équipements de protection individuelle appropriés. Il fournit également des recommandations concernant la gestion des déversements et des rejets accidentels, ainsi que des recommandations sur la manipulation appropriée de ces matériaux au moment de leur élimination.

Le présent document est destiné à être utilisé par des personnes compétentes, telles que des responsables de la santé et de la sécurité, des responsables de production, des responsables environnementaux, des hygiénistes du travail/de l'industrie et les autres personnes en charge du fonctionnement sûr des installations de production, de manipulation, de traitement et d'élimination de ces matériaux.

### 2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>

#### 3.1 agglomérat

ensemble de particules faiblement ou moyennement liées, dont l'aire de la surface externe résultante est similaire à la somme des aires de surface de chacun des composants

Note 1 à l'article: Les forces qui maintiennent un agglomérat sont des forces faibles, par exemple des forces de van der Waals, ou un simple enchevêtrement physique.

Note 2 à l'article: Les agglomérats sont également appelés particules secondaires et les particules sources initiales sont appelées particules primaires.

[SOURCE: ISO 26824:2022, 3.1.2]

### 3.2

#### **agrégat**

particule composée de particules fortement liées ou fusionnées, dont l'aire de la surface externe résultante est significativement plus petite que la somme des aires de surface de chacun des composants

Note 1 à l'article: Les forces assurant la cohésion d'un agrégat sont puissantes, par exemple des liaisons covalentes ou ioniques, ou des forces résultant d'un frittage ou d'un enchevêtrement physique complexe, ou sinon d'anciennes particules primaires combinées.

Note 2 à l'article: Les agrégats sont également appelés particules secondaires et les particules sources initiales sont appelées particules primaires.

[SOURCE: ISO 26824:2022, 3.1.3, modifié — «ou ioniques» a été ajouté à la Note 1 à l'article]

### 3.3

#### **nanomatériau d'ingénierie**

nanomatériau conçu pour un but ou une fonction spécifique

[SOURCE: ISO 80004-1:2023, 3.1.8]

### 3.4

#### **exposition**

contact avec un agent chimique, physique ou biologique par ingestion, inhalation ou contact avec la peau ou les yeux

Note 1 à l'article: L'exposition peut être de courte durée (exposition aiguë), de durée intermédiaire ou de longue durée (exposition chronique).

### 3.5

#### **dommage**

blessure physique ou atteinte à la santé des personnes, ou atteinte aux biens ou à l'environnement

[SOURCE: Guide ISO/IEC 51:2014, 3.1]

### 3.6

#### **danger**

source potentielle de dommage

[SOURCE: Guide ISO/IEC 51:2014, 3.2]

### 3.7

#### **danger pour la santé**

source potentielle d'atteinte à la santé

### 3.8

#### **nanofibre**

nano-objet ayant deux dimensions externes à l'échelle nanométrique et la troisième dimension externe significativement plus grande

Note 1 à l'article: La plus grande des dimensions externes n'est pas nécessairement à l'échelle nanométrique.

[SOURCE: ISO 80004-1:2023, 3.3.5]

### 3.9

#### **nano-objet**

portion discrète de matériau dont une, deux ou les trois dimensions externes sont à l'échelle nanométrique

[SOURCE: ISO 80004-1:2023, 3.1.5]

### 3.10

#### **nanoparticule**

*nano-objet* (3.9) dont toutes les dimensions externes sont à l'échelle nanométrique (3.12)

Note 1 à l'article: Si les dimensions diffèrent de façon significative (généralement d'un facteur supérieur à trois), des termes tels que *nanofibre* (3.8) ou *nanoplaque* (3.11) sont préférés au terme «nanoparticule».

[SOURCE: ISO 80004-1:2023, 3.3.4]

### 3.11

#### **nanoplaque**

nano-objet ayant une dimension externe à l'échelle nanométrique et les deux autres dimensions externes significativement plus grandes

Note 1 à l'article: Les dimensions externes les plus grandes ne sont pas nécessairement à l'échelle nanométrique.

[SOURCE: ISO 80004-1:2023, 3.3.6]

### 3.12

#### **échelle nanométrique**

échelle de longueur s'étendant approximativement de 1 nm à 100 nm

[SOURCE: ISO 80004-1:2023, 3.1.1]

### 3.13

#### **NOAA**

#### **nano-objets et leurs agrégats et agglomérats**

matériau composé de *nano-objets* (3.9) et de leurs agrégats et agglomérats

Note 1 à l'article: Les NOAA comprennent des structures présentant une, deux ou trois dimensions externes à l'échelle nanométrique, qui peuvent être des sphères, des fibres, des tubes et autres en tant que structures primaires. Les NOAA peuvent être constitués de structures primaires individuelles à l'échelle nanométrique et de structures agrégées ou agglomérées, y compris de tailles supérieures à 100 nm.

[SOURCE: ISO 80004-1:2023, 3.2.6]

### 3.14

#### **particule**

élément minuscule de matière, possédant un périmètre physique défini

Note 1 à l'article: Une limite physique peut également être décrite sous la forme d'une interface.

Note 2 à l'article: Une particule peut se déplacer sous la forme d'une unité.

Note 3 à l'article: Cette définition générale de «particule» s'applique aux nano-objets.

[SOURCE: ISO 26824:2022, 3.1.1]

### 3.15

#### **risque**

combinaison de la probabilité de la survenue d'un dommage et de sa gravité

Note 1 à l'article: La probabilité de survenue inclut l'exposition à une situation dangereuse, la survenue d'un événement dangereux et la possibilité d'éviter ou de limiter le dommage.

[SOURCE: Guide ISO/IEC 51:2014, 3.9]

## 4 Abréviations

ATG	Analyse ThermoGravimétrique
BPCO	BronchoPneumopathie Chronique Obstructive
CE	Carbone Élémentaire
CIB	Current Intelligence Bulletin (titre d'un bulletin d'information)
CNT	Carbon NanoTube (nanotube de carbone)
COSHH	Control of Substances Hazardous to Health Regulations (Réglementation concernant le contrôle des substances dangereuses pour la santé)
CPC	Compteur de Particules à Condensation
CPI	Consumer Products Inventory (inventaire des produits de consommation)
DMAS	Differential Mobility Analysing System (système d'analyse différentielle de mobilité)
DW	Double-Walled (à double paroi)
ECHA	Agence européenne des produits chimiques
EDX	Energy Dispersive X-ray (dispersion d'énergie des rayons X)
eLCOSH	Electronic Library of Construction Occupational Health and Safety (Bibliothèque électronique de la santé et de la sécurité au travail dans le secteur de la construction)
ENM	Engineered NanoMaterial (nanomatériau d'ingénierie)
EPI	Équipement de Protection Individuelle
EPR	Équipement de protection respiratoire
FDS	Fiche de Données de Sécurité
GGR	Gestion Graduée des Risques
GHS	Globally Harmonized System (Système général harmonisé)
HARN	High Aspect Ratio Nanomaterial (nanomatériau à rapport longueur/diamètre élevé)
HEPA	High-Efficiency Particulate matter (filtre à particules à haute efficacité)
ICP-AES	Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (spectrométrie d'émission atomique à source plasma à couplage inductif)
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif)
ICS	International Classification for Standards (classification internationale des normes)
LDSA	Lung Deposited Surface Area (surface spécifique des particules pouvant se déposer dans les poumons)
LEP	Limite d'Exposition Professionnelle
LEV	Local Exhaust Ventilation (système de ventilation par extraction localisée)
LIE	Limite Inférieure d'Explosivité

## ISO/TS 12901-1:2024(fr)

MEB	Microscopie Électronique à Balayage
MET	Microscopie Électronique à Transmission
MIE	Minimum Ignition Energy (énergie d'inflammation minimale)
MIT	Minimum Ignition Temperature (température d'inflammation minimale)
MNM	Manufactured NanoMaterial (nanomatériau manufacturé)
MWCNT	Multi-Walled Carbon NanoTube (nanotube de carbone à multiples parois)
NEAT	NanopArticles Exposure Assessment Technique (technique d'évaluation de l'exposition aux nano-particules)
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health (Institut national pour la sécurité et la santé au travail)
NLM	National Library of Medicine (Bibliothèque nationale de médecine)
NOAA	Nano-Objets, et leurs Agrégats et Agglomérats supérieurs à 100 nm
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économique
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OPC	Optical PArticle Counter (compteur optique de particules)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (Administration de la sécurité et de la santé au travail)
PLGA	Poly(Lactic-co-Glycolic) Acid (acide poly(lactique-co-glycolique))
R&D	Recherche et Développement
REACH	Registration, Évaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (enregistrement, évaluation et autorisation des substances chimiques et restrictions applicables à ces substances)
SbD	Safety-by-Design (sécurité dès la conception)
SW	Single-Walled (à simple paroi)
SWCNT	Single-Walled Carbon NanoTube (nanotube de carbone à simple paroi)
TDS	Technical Data Sheet (fiche technique)
TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance (microbalance à oscillation)
UK	Royaume-Uni
XRF	X-Ray Fluorescence (fluorescence X)

## 5 Types et caractéristiques des nanomatériaux

### 5.1 Généralités

[L'Article 5](#) décrit plusieurs types de nanomatériaux d'ingénierie les plus courants auxquels le présent document peut s'appliquer, quelques-uns d'entre eux pouvant également avoir des formes d'origine naturelle. Le présent document n'a pas pour but de fournir un guide complet et exhaustif de tous les types de nanomatériaux.

## 5.2 Fullerènes

Les fullerènes sont l'un des quatre types de formes de carbone d'origine naturelle et ont été découverts pendant les années 1980<sup>[2],[3]</sup>. Leurs molécules sont entièrement composées de carbone et se présentent sous la forme d'une sphère creuse. La structure des fullerènes est semblable à celle du graphite, à savoir des feuillets de cycles de carbone hexagonaux, mais elle peut également comporter des cycles pentagonaux ou heptagonaux, ce qui permet la formation de structures en 3D. L'un des fullerènes les plus souvent décrits est le C60, connu sous le nom de «Buckminster fullerène» ou «buckyball». Les fullerènes sont des matériaux chimiquement stables et insolubles en solutions aqueuses. Les applications potentielles comprennent l'administration de médicaments, les revêtements et le stockage d'hydrogène.

## 5.3 Nanotubes de carbone

Les nanotubes de carbone sont des allotropes du carbone ayant une structure cylindrique, un rapport longueur/diamètre élevé, des diamètres et longueurs de tube différents, ainsi que des structures de tube principalement constituées d'un ou plusieurs feuillets de graphène tubulaires<sup>[4]</sup>. Les principaux types sont généralement regroupés en nanotube (CNT) à simple paroi (SW), double paroi (DW) et parois multiples (MW). Les diamètres peuvent varier d'environ 1 nm pour les SWCNT à plus de 100 nm pour les MWCNT. Leurs longueurs peuvent dépasser plusieurs centaines de micromètres. Les CNT du commerce peuvent contenir une importante quantité d'autres allotropes du carbone, ainsi que des catalyseurs à nanoparticules inorganiques.

## 5.4 Graphène

Le graphène est un matériau bidimensionnel à base de carbone, d'une épaisseur allant jusqu'à 10 couches pour les mesures électriques, au-delà desquelles les propriétés électriques du matériau s'apparentent à celles du matériau massif (également appelé «graphite»). Les nanoplaques de graphène peuvent avoir un rapport élevé entre les dimensions latérales et l'épaisseur des feuillets, avec des dimensions latérales allant du submicromètre jusqu'à 100 micromètres<sup>[5]</sup>.

## 5.5 Nanofils

Les nanofils sont de petites nanofibres conductrices ou semi-conductrices ayant une structure monocristalline, un diamètre type de quelques dizaines de nanomètres et un rapport longueur/diamètre élevé. Divers métaux ont été utilisés pour fabriquer des nanofils, notamment le cobalt, l'or et le cuivre. Des nanofils de silicium ont également été produits. Les applications potentielles des nanofils comprennent les interconnecteurs dans les dispositifs nanoélectroniques, les composants photovoltaïques et les capteurs.

## 5.6 Points quantiques

Les points quantiques sont de petits (2 nm à 10 nm) ensembles de matériaux semi-conducteurs présentant de nouvelles propriétés électroniques, optiques, magnétiques et catalytiques. Ils contiennent généralement de 1 000 à 100 000 atomes et sont considérés comme un intermédiaire entre une structure solide étendue et une entité moléculaire unique. Les points quantiques semi-conducteurs présentent des propriétés photo-électroniques distinctes qui sont directement liées à leur taille. Par exemple, en modifiant la taille de la particule, la lumière émise par la particule excitée peut être réglée sur une longueur d'onde cible spécifique. Les applications comprennent la catalyse, l'imagerie médicale, les dispositifs optiques et les capteurs.

## 5.7 Métaux et oxydes de métaux, céramiques

Cette catégorie regroupe un large éventail de nanoparticules, y compris le dioxyde de titane ultrafin et la silice pyrogénée. De telles nanoparticules peuvent être formées à partir de nombreux matériaux, y compris des métaux, des oxydes et des céramiques. Ces matériaux ne sont souvent disponibles que sous une forme agglomérée ou agrégée. Ces matériaux peuvent être des composites ayant, par exemple, un noyau métallique avec une enveloppe d'oxyde, ou des alliages composés de mélanges de métaux. Ce groupe de nanoparticules est en général moins bien défini en matière de taille et de forme, et il est susceptible d'être produit en plus grandes quantités que d'autres formes de nanoparticules. Les applications comprennent les revêtements et les pigments, la catalyse, les produits d'hygiène personnelle, les cosmétiques et les composites.