



# LES NANO-OBJETS : UN AVENIR PROMETTEUR MAIS SOUS CONTRÔLE

## Le nanomètre

On connaît bien le système métrique, le **mètre** est la dimension la plus connue, on sait qu'il faut 10 secondes aux champions pour courir 100 mètres ( $10^2$  m), et que la taille moyenne des français est environ 1,70 m.

Le **micron** ou micromètre est mille fois plus petit que le millimètre ( $10^{-6}$ m), c'est à peu près la taille d'un globule rouge qui se balade dans notre sang, c'est 50 fois plus petit que le diamètre d'un cheveu.

Le **nanomètre** ( $10^{-9}$ m) est lui, encore mille fois plus petit que le micron, ce qui équivaut à la taille d'un virus. En 2015, les progrès de la gravure en électronique ont permis de faire des transistors de 20 nanomètres, c'est-à-dire 25 000 fois moins que l'épaisseur d'un cheveu pour être utilisés dans des objets miniaturisés.

Avec le nanomètre, on entre dans le domaine de l'**infiniment petit**, visible seulement grâce à des microscopes électroniques très puissants. C'est pourquoi les nano-objets sont invisibles à l'œil nu.

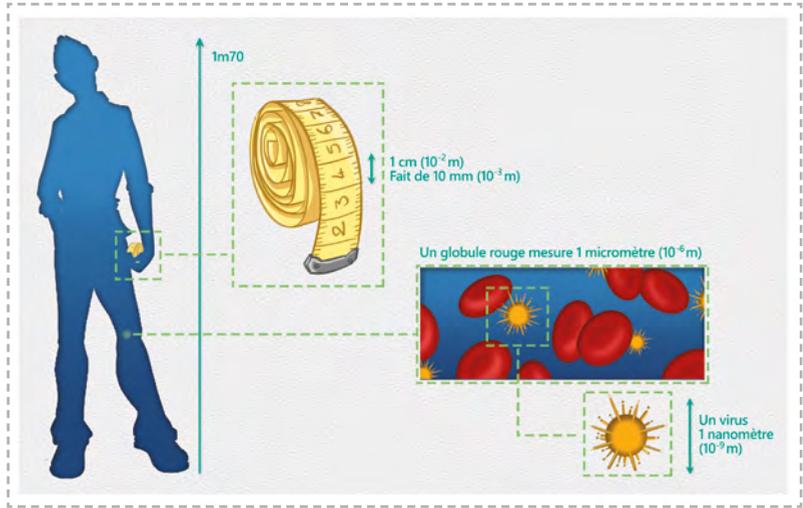


Le **centimètre** est le centième de mètre ( $10^{-2}$  m) et sur une règle double décimètre, on en compte 20. Le **millimètre** est le millième du mètre ( $10^{-3}$  m) et cela correspond aux petites divisions sur une règle, il y en a 10 par centimètre.



Figure 1

Le nanomètre : le domaine de l'infiniment petit.

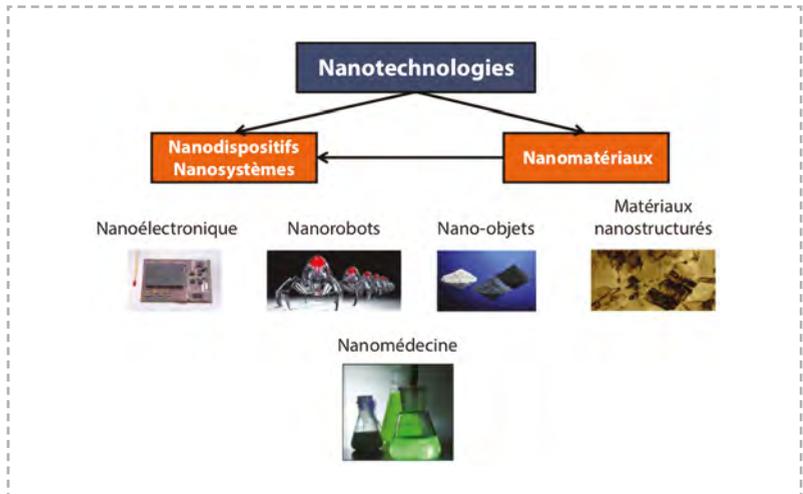


## Le nanomonde

Figure 2

Des nanotechnologies aux nanomatériaux et aux nanodispositifs.

Sources : matériaux nanostructurés : CNRS Photothèque – Champion Yannick.



Un **nano-objet** est un objet qui a une, deux ou trois dimensions externes à l'échelle nanométrique, c'est-à-dire entre 1 et 100 nanomètres, une nano-particule 3, une nano-plaquette 2, un nanotube ou nano-fibre 2.



Les **nanotechnologies** sont les techniques permettant de créer des matériaux ou des objets ou des systèmes qui font appel à de nouvelles propriétés qui découlent de ces dimensions nanométriques.



Les applications en nanoélectronique (*Figure 2*) sont utilisées dans les smartphones et ordinateurs portables et leur permettent d'avoir des capacités de mémoire et de calcul fantastiques. On fabrique aussi des nano-robots ou nano-drones aussi petits qu'une abeille.

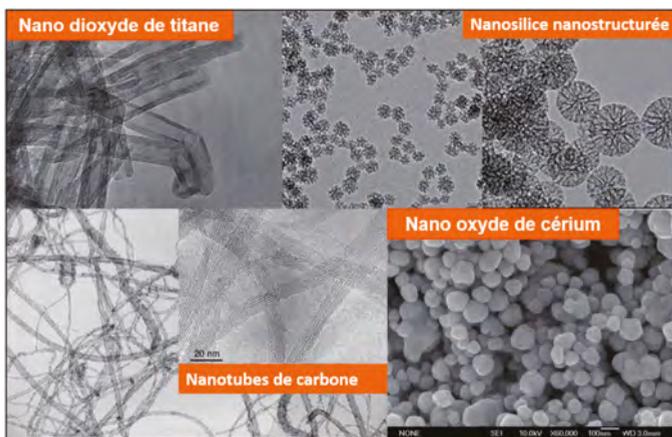
Il existe également des polymères nano-structurés qui sont bien plus résistants que les plastiques courants. Dans les matériaux composites, les nanotubes de carbone renforcent les polymères. En médecine, la nanochimie et la nanovectorisation délivrent la molécule thérapeutique sur la tumeur à soigner.

## La pollution par les nano-objets

Nous sommes tous exposés aux nano-objets, citons les nanoparticules de dioxyde de titane  $\text{TiO}_2$  que l'on trouve dans les peintures, les cosmétiques et crèmes de protection solaire, l'oxyde de cérium  $\text{CeO}_2$  utilisé dans les pots catalytiques des automobiles, les nanosilices nanostructurées (25 à 50 nm) et certains types de nanotubes de carbone pouvant atteindre en longueur plusieurs microns.



**Un matériau nanostructuré** a une structure interne ou de surface à l'échelle nanométrique, exemple les zéolithes pour les chimistes en catalyse.



**Figure 3**

Exemples de nano-objets : nano  $\text{TiO}_2$ , nano  $\text{CeO}_2$ , nano  $\text{SiO}_2$ , nano-tube de carbone. Sources : nano dioxyde de titane : CNRS Photothèque - UMR8502 - Laboratoire de physique des solides d'Orsay ; nanotubes de carbone : CNRS Photothèque - Masenelli-Varlot Karine (gauche) et Loiseau Annick (droite).



### La réglementation



Un **nano-matériau** est un matériau qui a au moins une dimension externe ou interne à l'échelle nanométrique.

La réglementation ne peut édicter des normes que pour les nano-objets manufacturés. Par exemple, la réglementation REACH européenne s'applique aux nanomatériaux depuis 2005. Beaucoup de mesures techniques ont été publiées par le Comité européen de normalisation (CEN) et en France, par l'AFNOR (Association française de normalisation).

Pour vérifier que les normes soient bien respectées par les produits industriels, il faut pouvoir les caractériser et il n'est pas facile de les mesurer à cette échelle de quelques nanomètres.

#### *Les mesures de vérification de REACH*

1. Mettre au point des protocoles spécifiques de caractérisation.
2. Valider la reproductibilité des protocoles avec un panel de dizaines de laboratoires reconnus et labellisés pour leur compétence.
3. Étudier cas par cas, les nouveaux produits et problèmes posés.
4. Examiner le produit et son élaboration ou usage de sa naissance à son recyclage ou destruction finale.
5. Harmoniser la législation au niveau européen et mondial sur les normes techniques.



Les **nano-matériaux manufacturés** ou industriels sont fabriqués en quantité dans un but commercial pour faire profiter de leurs propriétés. Comme exemple, les nanoparticules de dioxyde de titane  $\text{TiO}_2$  pour les protections aux rayonnements UV du Soleil, les nanotubes de carbone pour leurs propriétés mécaniques ou électriques.

Il y a malheureusement une catégorie sur laquelle les normes n'ont aucun pouvoir ; il s'agit des nano-objets relevant de la « pollution ambiante » car quel que soit l'endroit en ville, il se trouve de 20 000 à 30 000 nano-objets par millimètre cube d'air, en immense majorité non manufacturés ; on parle de nanomatériaux incidents. On sait approximativement les caractériser mais difficilement les évaluer.



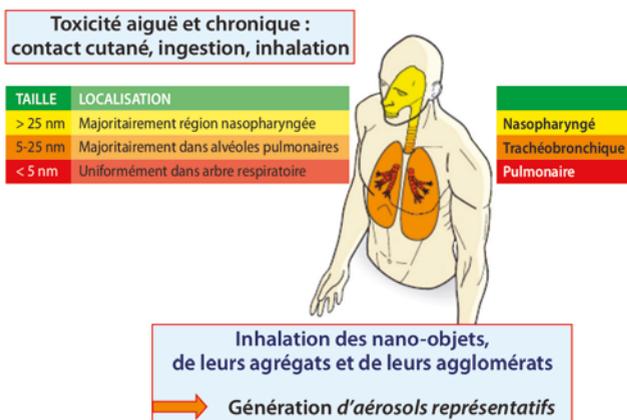
Les **nanomatériaux incidents**, ils sont présents en quantité importante dans notre environnement. Les particules fines des émissions des vieux moteurs diesels, les poussières en ville émises par les chauffages au bois, les pollens de centaines de plantes, les poussières des plaquettes de freins des automobiles, les particules métalliques issues du freinage des roues métalliques du métro ou des trains. Ils peuvent présenter des risques pour la santé tels qu'affections pulmonaires, allergies...



# Les dangers pour l'Homme et son environnement

## Toxicologie

La toxicité des nano-objets et nanoparticules peut être aiguë ou chronique, c'est-à-dire dans un cas provoquer une crise d'allergie souvent respiratoire, dans l'autre constater une diminution progressive de la capacité respiratoire qui évolue vers une bronchite chronique.



**Figure 4**

Effets toxicologiques des nano-objets sur le corps humain.  
 Source : D'après le document de présentation 2009 du débat public « Développement et régulation des nanotechnologies » préparé par sept ministères suite à la loi Grenelle 1.

Les nano-objets pénètrent dans l'organisme par contact cutané, ingestion, mais surtout par inhalation. Le point le plus important pour étudier les effets sur les organismes, notamment sur les plantes et les animaux, est de générer expérimentalement des aérosols représentatifs au cas par cas avec des protocoles bien définis et reproductibles.

Les exemples les plus connus sur les organismes humains sont les maladies respiratoires dont souffrent les mineurs qui travaillent de longues heures par jour dans une atmosphère où diffusent des nanoparticules de silices et de charbons. Ils sont tous atteints, après quelques années, de silicose et souvent meurent prématurément d'insuffisance respiratoire.



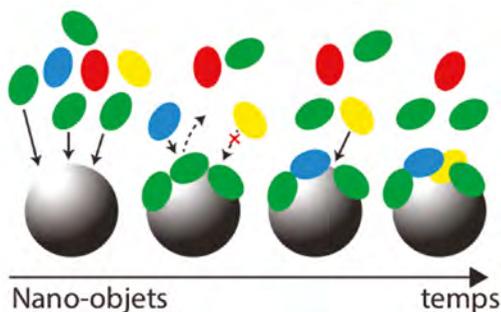
## Des cosmétiques à risque

Un autre exemple qui a défrayé la chronique était les possibilités des nanoparticules de  $\text{TiO}_2$  (dioxyde de titane) utilisées dans les crèmes cosmétiques, de franchir par contact, le derme de la peau et de se retrouver dans le sang. Des études récentes menées par plusieurs laboratoires de biologie montrent qu'elles ne franchissent pas la barrière du derme.

## La dissémination

Figure 5

Représentation de l'effet Corona : les (macro) molécules dans les milieux biologiques et dans l'environnement s'adsorbent sur les nano-objets.



La dissémination des nano-objets dans notre environnement comme quantités de produits chimiques naturels ou manufacturés est un sujet crucial pour la recherche. Des dispositifs expérimentaux sont utilisés, ils reproduisent les conditions naturelles de vie des espèces végétales ou animales. Ce sont des serres qui abritent des carrés de culture simulant le mésocosme naturel en milieu clos.

## L'effet Corona



En ce qui concerne la pollution atmosphérique des villes, on connaît les particules qui ont fixé des HAP (Hydrocarbure Aromatiques Polycycliques) à leur surface et qui sont considérées comme cancéreuses.

Les nanoparticules ont des propriétés de surface exacerbées. Les propriétés d'adsorption de molécules chimiques sont très fortes et elles peuvent donc faire pénétrer avec la particule, un bouquet de polluants fixés en surface. Il faut donc prendre en compte pour les études de toxicité : la composition chimique, la structure cristalline mais aussi la distribution de tailles, de formes, la surface spécifique et la chimie de surface, les charges électriques. Toutes ces propriétés vont fortement influencer sur la pénétration des membranes biologiques des cellules.



# Maîtrise des risques des nano-objets

On ne peut bien maîtriser que ce que l'on connaît. Dans le cas des nano-objets industriels, il faut d'abord connaître la nature de ces objets, puis évaluer ou mieux mesurer leur dissémination, c'est-à-dire la concentration par volume d'air qui définit le degré d'exposition des personnels. Ces points étant définis, il faut alors trouver les moyens de protection des personnels et des utilisateurs, ventilation, manipulations sous protection, etc.

## Les produits industriels et NANOSAFE

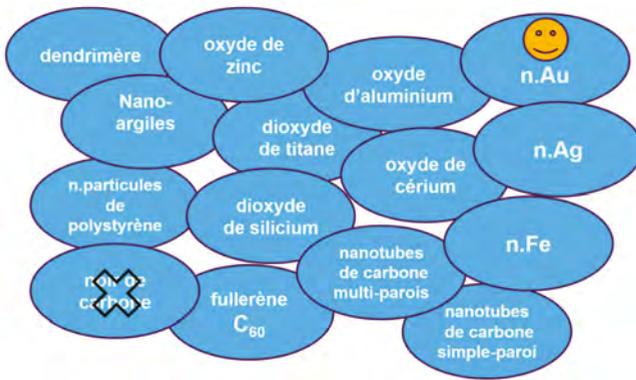


Figure 6

Les 14 produits industriels du « Working Party on Manufactured Nanomaterials » en cours d'analyse par l'OCDE.

Ces produits sont maintenant nombreux, ils ont été répertoriés par un comité de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) et peuvent être classés en trois familles :

- les nano-organiques, les dendrimères, les polystyrènes, les fullerènes, les carbones sous toutes les formes, les nanotubes en particulier ;
- les nano-minéraux, les argiles, l'oxyde de zinc  $ZnO$ , de titane  $TiO_2$ , la silice  $SiO_2$ , l'oxyde de cérium  $CeO_2$ , l'alumine  $Al_2O_3$  ;
- les nano-métaux, l'or Au, l'argent Ag, le fer Fe.

La sécurité dans la production et l'utilisation des nano-objets a été prise en compte dès 2002/2003 par le programme européen NANOSAFE qui a édité de nombreux documents accessibles aux industriels et



particuliers. Ces documents ont trait notamment à la mise en œuvre des systèmes de filtration, à la protection contre les aérosols, aux mesures d'exposition.

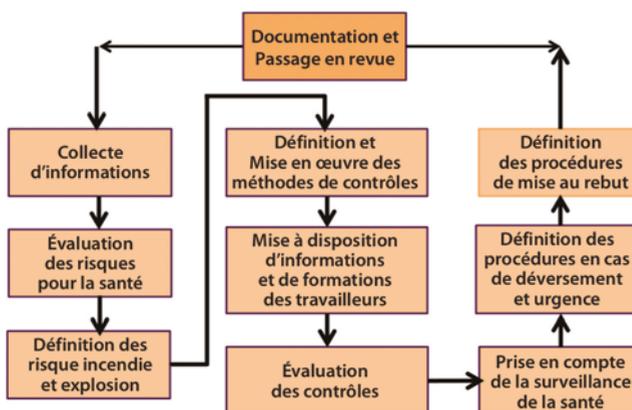
Des fiches de sécurité ont été élaborées par l'INRS (Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles). Certaines ont été reprises par l'AFNOR (Association française de normalisation).

## Les moyens

Face aux risques il faut prévenir et protéger.

Figure 7

Les étapes clés de la maîtrise du risque.



Pour les nano-objets, le danger est au départ, parfois inconnu. Il faut dans un premier temps, l'évaluer et identifier le nano-objet auquel peuvent être exposés les travailleurs.

Dans un second temps, il faut se référer au règlement (le code) et pour rester dans les normes admissibles, mettre en jeu des solutions telles que le prélèvement à la source, la ventilation collective, les équipements de protection individuelle.

Auparavant et en même temps, l'évaluation des risques pour la santé, éventuellement les risques d'incendie si les nanoparticules sont inflammables, auront été considérés. Il faut aussi mettre en place les contrôles et analyses régulières, former le personnel aux gestes et comportement de sécurité et travailler à un suivi régulier avec l'ingénieur sécurité et la médecine du travail.



## Les plateformes

Plusieurs pays ou industries ont organisé des centres de recherche et de prévention pour les nanotechnologies.



Figure 8

La plateforme Nano Sécurité du CEA à Grenoble.

En France, c'est le commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) qui a développé une approche globale de la nanosécurité avec la Plateforme Nano Sécurité (PNS) située à Grenoble. Sur 2 000 m<sup>2</sup>, sept salles dédiées à la recherche et à la sécurité dans les différents domaines essentiels : détection et mesures, modélisation, expertise médicale et biologique, toxicologie, écotoxicologie, formation des personnels, et même interventions puisqu'une unité de pompiers spécialisés prêts à intervenir y est affectée.

## Communication

Les nanotechnologies ont été l'objet de diverses controverses en France, ceci en raison d'une communication pas toujours adaptée aux différents publics (grand public, politique, etc.). Bien que fascinée par les technologies futuristes, la population reste toujours un peu frileuse face à des technologies encore inconnues.



Gestion des risques, principes de précaution ont jusqu'à maintenant freiné le développement des nanotechnologies en France.

Néanmoins, la transparence d'un discours politique et scientifique, des normes accessibles à tous, un étiquetage généralisé des produits permettront un essor de cette nouvelle technologie.

### **Conclusion**

**Les nano-objets sont une véritable prouesse technologique mais doivent être maîtrisés dans leur conception et leurs applications pour permettre une utilisation optimum et sans danger.**