

# Nanotechnologies

Depuis une décennie, l'utilisation des nanotechnologies s'est considérablement développée dans les entreprises. Dans les années à venir, le nombre de travailleurs exposés devrait encore augmenter fortement. Pourtant, les risques sanitaires et environnementaux qui découlent de leur utilisation, par les travailleurs mais aussi par les consommateurs, sont largement méconnus. Des études réalisées sur les animaux établissent que certaines nanoparticules peuvent traverser les barrières physiologiques (peau, muqueuses, etc.), se répandre dans le corps et s'accumuler dans différents organes. Des effets toxiques ont été mis évidence chez certains animaux.

Ce dossier vise à faire le point sur les connaissances indispensables qu'un délégué doit avoir : Qu'appelle-t-on une nanotechnologie ? Quels sont les produits potentiellement concernés ? Quels sont les risques pour la santé et l'environnement ? Quelles mesures de protection prendre pour les travailleurs ? Quelle réglementation pour l'utilisation des nano dans les entreprises ? Quelle approche syndicale ? En tant que consommateur, comment repérer un produit contenant des nanoparticules ?

## Sommaire

<b>1 Nanotechnologies : définitions et concepts</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Le marché des nano, les applications</b> .....	<b>4</b>
<b>3 Risques environnementaux</b> .....	<b>6</b>
<b>4 Exposition professionnelle aux nanotechnologies</b> .....	<b>8</b>
4.1 Secteurs concernés, nombre d'entreprises utilisant les procédés nano et nombre de travailleurs exposés .....	8
4.2 Impacts sanitaires : voies d'exposition et effets potentiels.....	10
4.3 Quelles dispositions pour protéger les travailleurs ? .....	12
4.3.1 Réglementation pour la protection des travailleurs .....	12
4.3.2 Registre belge des nanomatériaux.....	13
4.3.3 Recommandation de la Commission européenne .....	13
4.4 Surveillance de la santé des travailleurs .....	14
4.5 Agir sur la question des nanotechnologies via les organes de concertation : que faire ?.....	14
4.5.1 Prévenir les risques d'exposition des travailleurs .....	14
4.5.2 Les questions à poser en CPPT .....	15
<b>5 Ressources documentaires et bibliographie</b> .....	<b>17</b>

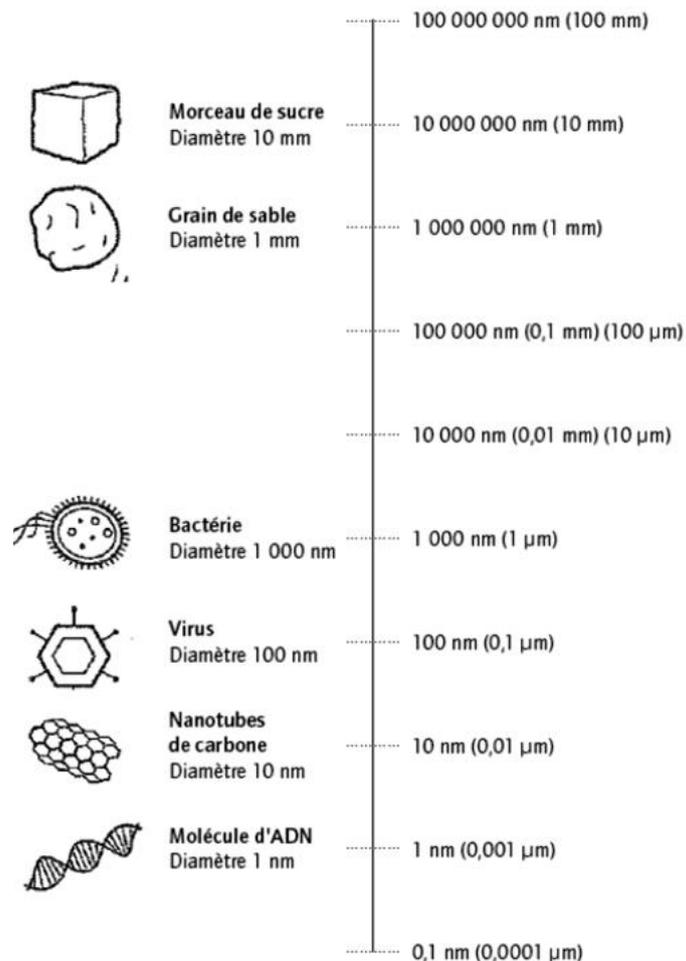
# I Nanotechnologies : définitions et concepts

## Échelle du nanomonde

Pour imaginer la dimension d'un nanomètre (nm en abrégé), sachez qu'un nanomètre est 30 000 fois plus fin que l'épaisseur d'un cheveu ou 100 fois plus petit que la molécule d'ADN.

Un nanomètre équivaut à un milliardième de mètre ( $1 \text{ nm} = 0,000\ 000\ 001 \text{ m} = 10^{-9}\text{m}$ ).

L'échelle nanométrique couvre un spectre de dimensions allant de 1 nanomètre à 100 nanomètres.



Source: *Novel Materials in the Environment: The case of Nanotechnology*, Royal Commission on Environmental Pollution, novembre 2008

## Nanotechnologie – Définition

Le terme « nanotechnologie » est un terme générique qui désigne les procédés de fabrication et/ou de manipulation de structures à l'échelle nanométrique (voir encadré), c'est-à-dire de structures dont au moins une des dimensions se situe entre 1 et 100 nm. L'intérêt de travailler à cette échelle est que les éléments possèdent des propriétés complètement différentes de celles qu'ils auraient à l'échelle normale ou bien voient leurs propriétés renforcées. En effet, ils sont tellement petits qu'ils disposent d'une surface de contact plus grande par rapport à leur volume (pensez au sucre qui fond plus rapidement quand il est en poudre qu'en carré) et ont de fait des caractéristiques physico-chimiques différentes. Par exemple, le dioxyde de titane peut devenir transparent (d'où son usage sous forme nano pour les crèmes solaires pour enlever l'effet blanchâtre). Le cuivre, à l'échelle nanométrique, est trois fois plus résistant que le cuivre classique et peut également devenir transparent. Ces modifications des

caractéristiques physico-chimiques permettent des développements dans toute une série de domaines : la santé, l'industrie, l'environnement, l'énergie, etc.

Les nanomatériaux sont donc fabriqués intentionnellement par l'homme pour exploiter les caractéristiques spécifiques des matériaux à l'échelle nanométrique. Mais il existe aussi des nanoparticules naturelles : ce sont par exemple les poussières d'érosion ou les poussières issues d'éruption volcanique ou encore les embruns marins. D'autres nanoparticules sont produites involontairement lors de phénomènes de combustion : par exemple, lors de la combustion du bois ou de la combustion des moteurs diesel.

Origine naturelle	Production humaine <u>non intentionnelle</u>	Production <u>intentionnelle</u> de nanoparticules
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Virus</li> <li>• Poussières volcaniques</li> <li>• Poussières et fumées d'incendies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fumées de tabac</li> <li>• Usinage de métaux, fumées de soudage, découpes à chaud, etc.</li> <li>• Pollution automobile</li> <li>• Décapage, traitements de surfaces</li> <li>• Fumées de cuisine</li> <li>• Rejets industriels</li> <li>• Incinérations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textile</li> <li>• Cosmétique</li> <li>• Alimentation</li> <li>• Médecine</li> <li>• Technologies de l'information et de la communication</li> <li>• Électronique</li> <li>• Armement</li> </ul>

## Définitions

### **Nanomatériau (définition de l'Organisation Internationale de Normalisation – ISO)**

Un nanomatériau est « un matériau comportant toute dimension externe à l'échelle nanométrique<sup>1</sup> ou une structure interne ou en surface à l'échelle nanométrique ». Les nanomatériaux peuvent être des métaux, céramiques, carbones, polymères ou encore des silicates qui présentent la particularité d'avoir des caractéristiques différentes par rapport aux mêmes matériaux à l'échelle macro. Il y a deux catégories de nanomatériaux : les nano-objets et les matériaux nanostructurés.

### **Nano-objets**

Les nano-objets sont des matériaux dont au moins 1 dimension extérieure se situe à l'échelle nanométrique. Il y a 3 types de nano-objets :

- les nanoparticules qui ont 3 dimensions<sup>2</sup> extérieures à l'échelle nanométrique ;
- les nanofibres qui ont 2 dimensions extérieures à l'échelle nanométrique ;
- et les nanofeuillets qui ont 1 dimension extérieure à l'échelle nanométrique.

### **Matériaux nanostructurés**

Un matériau nanostructuré est un matériau qui possède une structure interne ou de surface à l'échelle nanométrique.

<sup>1</sup> L'échelle nanométrique s'étend de 1 nm à 100 nm.

<sup>2</sup> Longueur, largeur, épaisseur.

## 2 Le marché des nano, les applications

Le marché des nanotechnologies est en pleine expansion : les nanomatériaux se multiplient sur le marché et leur usage s'étend aux applications les plus diverses concernant un nombre de plus en plus important de produits. Selon un inventaire de 2013<sup>3</sup>, il y aurait 1 628 produits issus de nano sur le marché.

Aux débuts des années 2000, le marché mondial des nano pesait déjà dans les 40 milliards d'euros. On parle de nos jours de plusieurs centaines de milliards de dollars chaque année.

Des centaines de nanomatériaux sont déjà présents sur le marché. Les plus couramment employés par l'industrie sont :

- le noir de carbone (ou carbon black ou suie synthétique) : utilisé pour renforcer les matériaux ;
- les nanoparticules de dioxyde de titane (TiO<sub>2</sub>) : utilisées dans les crèmes solaires pour absorber les rayons UV ;
- le nanoargent : utilisé pour ses propriétés antibactériennes et fongicides dans de nombreux produits (vêtements de sports, chaussettes, contenants alimentaires, brosses à dents, nettoyeurs de surfaces, jouets, pansements, matériaux de stérilisation, etc.) ;
- les nanotubes de carbone à parois multiples (MWNT) : utilisés pour leur stabilité, solidité et rigidité et légèreté accrues dans une multitude d'applications comme des structures aérospatiales, des véhicules terrestres et maritimes mais aussi dans des articles de sports (raquettes de tennis, cadres de bicyclette, skis, planches de surf, etc.) ou dans le domaine médical (radiothérapie, administration de médicaments, etc.). Il s'agit de la nanotechnologie la plus commercialisée ;
- les nanoparticules de dioxyde de silice (SiO<sub>2</sub>) ou nanosilices : utilisées dans la construction pour augmenter la cohésion du béton, dans les peintures et les revêtements pour rendre les surfaces auto-nettoyantes, dans les applications biomédicales (thérapie du cancer, administration de médicaments, etc.), dans les textiles pour les traiter anti-taches.

Ces nanomatériaux se présentent la plupart du temps sous forme de poudres ultra-fines. Ils peuvent être ajoutés à des matériaux sous forme solide lors de la production.

Parmi les développements technologiques les plus prometteurs, figurent des améliorations de l'accès à l'eau, des soins médicaux ou de l'efficacité énergétique. Mais les nanotechnologies ont des débouchés dans de nombreux secteurs. Le tableau ci-après vous en présente un aperçu plus large.

### Nanoproduits et applications par secteur

Automobile Espace	<ul style="list-style-type: none"><li>• Peintures et revêtements destinés aux automobiles et aux avions, pièces détachées automobiles, additifs de carburant, batteries, pneus durables et recyclables</li><li>• Systèmes électroniques supportant les radiations</li><li>• Systèmes de nanocapteurs intégrés</li><li>• Capteurs optiques</li></ul>
Biomédical, pharmaceutique	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nanomatériaux pour l'administration de médicaments, ouverture à distance de microcapsules par rayon laser</li><li>• Revêtement de textiles hospitaliers, masques, blouses de chirurgie, cathéters, pansements pour les plaies, imagerie moléculaire ; additifs dans les matériaux dentaires polymérisables, additifs dans le ciment osseux ; charge de résine en dioxyde de silicone, revêtement d'implants pour prothèses articulaires</li></ul>

<sup>3</sup> Projet on Emerging Nanotechnologies, consumer products inventory, 2013.

## Nanoproduits et applications par secteur

Chimie et matériaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pigments, revêtements autonettoyants anti-éraflures, poudres céramiques, inhibiteurs de corrosion, surfaces et textiles antibactériens, isolation thermique, encres</li> </ul>
Cosmétiques et soins personnels	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Écrans solaires, hydratants pour le visage, pâte dentifrice, rouge à lèvres, traitement de l'acné, produits de soins pour bébé</li> <li>• Shampoings, conditionneurs, sèche-cheveux, fers à cheveux</li> </ul>
Défense	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tenue de combat pour les soldats, systèmes de surveillance médicale et de soins médicaux</li> </ul>
Électronique et communication	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Électronique moléculaire et photonique</li> <li>• Hardware informatique, mémoire et stockage de l'information à haute densité, catalyseurs multifonctionnels, microprocesseurs, capteurs, écrans plats, transistors à nanotubes de carbone, panneaux d'affichage légers, inhibiteurs de corrosion</li> <li>• Nanorobots, opérations automatiques à l'échelle nanométrique</li> </ul>
Énergie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cellules photovoltaïques, batteries, matériaux isolants</li> <li>• Stockage de l'hydrogène dans du graphène</li> </ul>
Environnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modélisation climatique</li> <li>• Pesticides et fertilisants</li> <li>• Traitement de l'eau et filtres</li> <li>• Catalyseur pour une meilleure qualité de l'air</li> </ul>
Alimentation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emballages de plastique pour bloquer les rayons UV et assurer une protection antibactérienne</li> <li>• Bouteilles, cartons et films contenant des nanocomposites en argile faisant obstacle au passage de gaz ou d'odeurs</li> <li>• On développe actuellement des nanocapteurs capables de détecter des bactéries et d'autres contaminants comme la salmonelle dans les installations de conditionnement</li> </ul>
Sports	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textiles sportifs</li> <li>• Revêtement pour bateaux et kayaks</li> <li>• Cannes à pêche en résine époxy</li> <li>• Raquettes de tennis, clubs de golf, bâtes de base-ball, équipement de ski, cadres et composants de bicyclettes</li> </ul>

Source : *Les nanomatériaux sur le lieu de travail, quels enjeux pour la santé des travailleurs*, Aïda Marie Ponce Del Castillo, chargée de recherche, Institut Syndical Européen.

Des milliers de produits de consommation courante contiennent déjà des nano. Les catégories de produits les plus représentées sont les cosmétiques, les vêtements, les soins de la personne et les crèmes solaires. Dans ces produits, les nanomatériaux les plus utilisés sont le nanoargent, le dioxyde de titane et les nanotubes de carbone<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Source : Actu-Environnement : <http://www.actu-environnement.com/ae/news/nanomateriaux-produits-consommation-pen-19897.php4>

### 3 Risques environnementaux

On connaît finalement peu de choses des impacts sanitaires des nano (voir ci-après). Leur impact sur l'environnement – la faune et la flore –, c'est-à-dire leur éco-toxicité, est tout aussi peu documenté. Voici ce que pointent les rares études :

- il y aurait 390 000 tonnes de nano manufacturés émis en 2010 dans les cultures, les sols, l'eau et l'atmosphère<sup>5</sup> ;
- la composition de la communauté microbienne du sol serait modifiée<sup>6</sup> ;
- les nano utilisées comme agents antimicrobiens influenceraient la faune microbienne bénéfique du sol<sup>7</sup> ;
- il y a bioconcentration dans certains végétaux, ce qui constitue une porte d'entrée dans la chaîne alimentaire ;
- certaines nano ont un impact toxique sur des poissons, algues et crustacés (diminution de la fertilité, malformations, augmentation du taux de mortalité notamment).

Par ailleurs, la production de certaines nano est extrêmement énergivore (fullerènes, nanotubes et nanofibres de carbone). En conséquence, l'impact du cycle de vie de certaines nano pourrait être nettement supérieur à celui des matériaux qu'elles remplacent.

Soulignons aussi que les nano ont de nombreuses applications en matière d'environnement, notamment dans la dépollution des eaux, l'augmentation de l'efficacité énergétique, la réduction des pollutions, etc. Mais s'il ne faut pas jeter le bébé avec l'eau du bain, les incertitudes liées aux risques générés par les nano doivent engendrer une extrême prudence et une grande parcimonie dans l'utilisation des nano. Par exemple, leur utilisation pour réduire le poids des voitures individuelles est-elle réellement indiquée ? Lutter contre le changement climatique et la congestion automobile passe, à notre sens et avant tout, par des solutions collectives (transports en commun, mobilité douce, aménagement des horaires de travail, etc.). Car le poids des voitures, s'il a diminué ces dernières années, n'a pu contrebalancer l'augmentation du nombre de kilomètres parcourus et le nombre de véhicules sur nos routes.

#### **La gestion des déchets au format nano**

Les nanotechnologies génèrent également de nouvelles formes de déchets : les nanodéchets. Les déchets issus des nanotechnologies peuvent être générés :

- lors de la phase de production de nanomatériaux (il s'agit de déchets de nanomatériaux purs) ;
- lors de la production de produits où sont incorporés des nano ;
- lors de la phase de fin de vie des produits contenant des nano.

Sont notamment considérés comme nanodéchets :

- les déchets de nanomatériaux purs (sous forme solide ou liquide) : résidus, échantillons, produit des rinçages ;
- les objets souillés par des nano lors de la production : récipients, chiffons, EPI jetables, vêtements de travail, filtres, etc.

<sup>5</sup> Estimation de Keller et al., 2013.

<sup>6</sup> Colman et al., 2013.

<sup>7</sup> Dimkpa et al., 2013.

Tous les articles contenant des nano devraient également être concernés par une gestion spécifique de ce type de déchet si l'on veut éviter la dissémination dans l'environnement. Notons aussi que certains produits contenant des nano peuvent en libérer lors de leur utilisation ou leur nettoyage (par exemple des chaussettes traitées aux nanoparticules d'argent ou des vitres traitées anti-salissures avec des nanoparticules de dioxyde de silice).

Comment doit-on gérer les déchets issus des nanotechnologies au sein des entreprises ? Au niveau wallon, il n'y a pour l'instant aucune réglementation particulière concernant ce type de déchet. Pourtant, il y aurait en Belgique entre 35 000 et 45 000 entreprises qui commercialisent des substances, produits ou articles contenant des nano.

Voici donc quelques pistes issues de recommandations de pays où une réflexion a déjà été menée sur la gestion des nanodéchets :

- les déchets de nanomatériaux doivent être conditionnés de manière étanche, dans des emballages fermés, avec un étiquetage spécifique mentionnant la présence de nano. Un double emballage est recommandé surtout pour les déchets sous forme de poudres ;
- la zone de stockage de ces déchets doit aussi être spécifiquement identifiée comme telle ;
- le collecteur et transporteur doit être averti de la présence de nanomatériaux ;
- les déchets issus de nano devraient être traités comme déchets dangereux. Notons à ce propos qu'à l'heure actuelle, il n'existe aucun procédé d'élimination qui soit sûr et garantisse que des nano ne soient pas libérés à nouveau dans l'environnement lors de la phase de traitement des déchets. Tout comme les risques sur la santé et l'environnement, les impacts du traitement des déchets devrait être étudié pour chaque forme de nano.

L'absence de mesures spécifiques concernant la gestion des déchets issus de nano (et donc la dissémination actuelle de milliers de tonnes de nano dans l'environnement) et le peu de données scientifiques sur les impacts des techniques d'élimination devraient inciter aussi à l'utilisation la plus restreinte de ce type de technologie par rapport à l'utilité finale. En outre, l'utilisation des nano dans des milliers d'applications et de produits risque de mettre en péril la mise en route à plus large échelle des principes de l'économie circulaire. Car recycler et réutiliser des déchets de nano pourrait conduire à augmenter la dissémination dans l'environnement.

## 4 Exposition professionnelle aux nanotechnologies

### 4.1 Secteurs concernés, nombre d'entreprises utilisant les procédés nano et nombre de travailleurs exposés

On ne connaît pas précisément le nombre d'entreprises ayant recours aux procédés nano ni le nombre de travailleurs exposés. Il n'y a en effet, pour l'instant, aucune obligation pour les entreprises de déclarer les nano utilisées ou mises sur le marché et le nombre de travailleurs exposés.

À partir du 1<sup>er</sup> janvier 2016 toutefois, les entreprises en Belgique devront enregistrer les nano qu'elles mettent sur le marché dans le cadre de la loi sur la mise sur le marché des nanomatériaux. En France, ce registre existe depuis 2013.

Malheureusement, le cadre belge est incomplet : malgré les pressions des syndicats et des associations de protection de l'environnement pour renforcer cette nouvelle loi, les employeurs ne seront finalement pas obligés de déclarer le nombre de travailleurs exposés.

Dans le cadre de la mise en place de ce registre en Belgique, une étude du marché belge des nano a été commandée par le SPF Santé, Environnement et Sécurité de la chaîne alimentaire (Étude BiPRO, 2013). Elle estime entre 2 000 et 5 000, le nombre de substances à l'état nano, entre 80 et 160 000, le nombre de mélanges contenant des nano, entre 800 000 et 1 300 000 substances, le nombre d'articles contenant des nano. Enfin, entre 35 000 et 45 000 entreprises belges commercialisant des substances, produits ou articles contenant des nano pourraient être concernées par les démarches à accomplir dans le cadre du registre belge, en fonction du champ retenu pour l'enregistrement de celles-ci.

Au niveau européen, la Commission européenne estimait qu'en 2012, le secteur des nanotechnologies employait directement entre 300 000 et 400 000 personnes dans l'UE<sup>8</sup>.

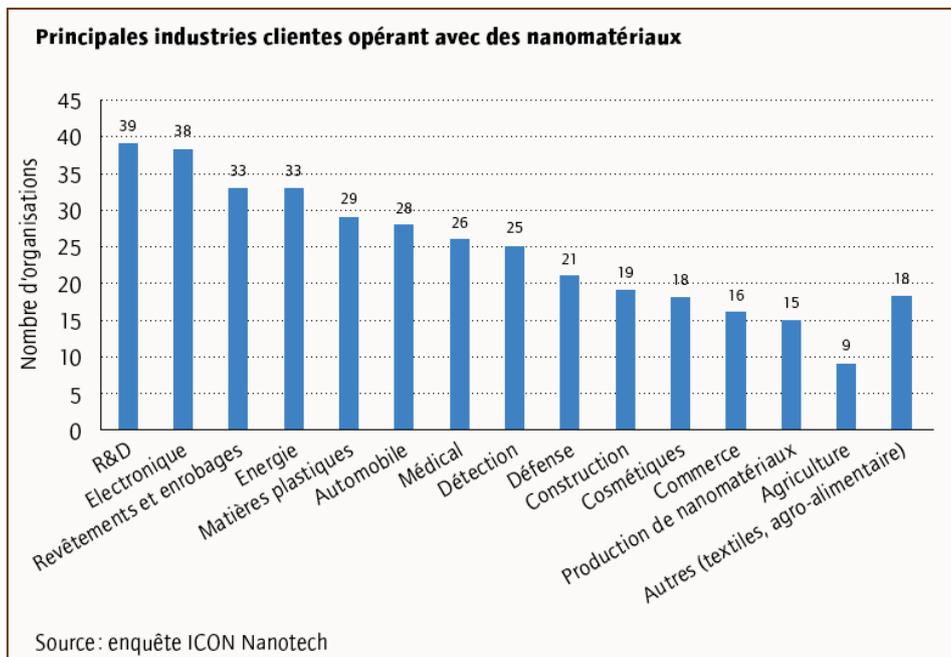
#### Les secteurs les plus concernés par le travail avec des nano

Selon l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (OSHA), les secteurs les plus exposés aux nanoparticules sont la construction, les soins de santé, la production et l'utilisation des énergies, l'industrie automobile, la chimie, l'aéronautique, le textile, la défense, la fabrication d'outils et d'instruments, l'électronique et les communications.

Autre son de cloche d'une université californienne ayant réalisé une enquête pour récolter des informations sur les entreprises utilisant les nano : selon cette source, les secteurs les plus exposés (voir infographie ci-dessous) concerneraient également la R&D, les revêtements et enrobages, la détection, les cosmétiques, le commerce, l'agriculture, le textile et l'agro-alimentaire.

---

<sup>8</sup> Source : veilleNanos : dossier « Qui sont les travailleurs exposés aux nanomatériaux ».



## Les manipulations à risque

Outre les secteurs les plus enclins à utiliser des nanomatériaux dans le processus de production ou dans les produits fabriqués, certains postes de travail sont davantage concernés par la manipulation directe de nano :

- tous ceux exigeant de manipuler le produit : peser, mélanger, transférer, secouer, etc. ;
- l'usinage : forer, polir, couper, etc. ;
- le conditionnement : emballer, stocker ;
- la maintenance et le nettoyage ;
- le traitement des déchets ;
- le recyclage.

### Comment identifier les nanomatériaux ?

À l'heure actuelle, il est très difficile d'identifier nanomatériaux et nanoproduits. Il n'est actuellement pas obligatoire de les étiqueter comme tels.

**Pour les travailleurs :** règles d'étiquetage et signalisation des lieux de travail

Les règles d'étiquetage CLP sont d'application. Il n'existe pas de pictogramme spécifique pour les nano. Les pictogrammes et mentions de dangers (phrases H qui sont les anciennes phrases de risques) sont d'application en fonction des risques qui caractérisent les nano (caractère cancérigène, mutagène, reprotoxique, etc.) et en fonction de la voie d'exposition.

Sur le lieu de travail, au plan de la signalisation, il n'y a pas de pictogramme ou d'obligations spécifiques pour les nano – mais bien pour signaler les risques liés à l'exposition aux agents chimiques dangereux : les pictogrammes et mentions de danger en vigueur sont d'application en fonction du type de risque. Les pictogrammes suivants seront utilisés : le pictogramme général de danger, accès interdit aux personnes non autorisées, protection obligatoire des voies respiratoires, les pictogrammes représentant les EPI (cf. AR du 17/6/1997 concernant la signalisation de santé et sécurité au travail).

### **Pour les consommateurs**

Pour certains produits, il faut se référer à l'étiquetage pour savoir si un produit contient des nano. Deux règlements européens, celui sur les produits cosmétiques (1223/2009/CE) et celui sur l'étiquetage des denrées alimentaires (1169/2011/CE) imposent de lister les ingrédients de produits. Ceux présents sous forme nano doivent être suivis par l'appellation « nano » entre parenthèses. Par contre, pour des produits comme des chaussettes, des équipements de voiture ou des équipements électroniques, rien n'oblige les fabricants à spécifier que leurs produits contiennent des nano.

## **4.2 Impacts sanitaires : voies d'exposition et effets potentiels**

Les études scientifiques actuelles ne permettent pas de se prononcer avec certitude sur la toxicité des nano. Il y a peu d'études épidémiologiques vu qu'il n'y a pas d'obligation d'enregistrement des données d'exposition (ou s'il y en a comme en France, elles sont très récentes – janvier 2013). Les tests in vitro sont nombreux mais donnent peu de réponses cohérentes en raison notamment d'un manque de standardisation des protocoles d'étude et d'une difficile extrapolation des résultats à l'homme. Par contre, des données issues de différentes études in vivo sur les animaux font état de manière récurrente des effets suivants :

- des effets inflammatoires et fibrose pulmonaire (effets similaires à ceux provoqués par les fibres d'amiante) : c'est le cas pour les nanotubes de carbone ;
- des effets cancérigènes (dont le mésothéliome) et mutagènes ainsi que des effets perturbateurs du système endocrinien (perturbations hormonales, troubles de la fertilité, etc.).

Certaines nanoparticules inhalées ou ingérées peuvent traverser les barrières naturelles du corps humain. Elles peuvent se distribuer dans l'organisme via le système sanguin et lymphatique et s'accumuler dans certains organes – comme les poumons, le foie, le cœur, le cerveau, la rate et les os – et à l'intérieur des cellules.

Des effets toxiques ont été mis en évidence aux niveaux pulmonaire, cardiaque, reproducteur, rénal, cutané et cellulaire.

Même si tous les nanomatériaux ne sont pas dangereux, il est établi que certains nanomatériaux comportent des risques potentiels pour la santé des travailleurs, des consommateurs et de l'environnement. Par exemple, le CIRC (le Centre International de Recherche sur le Cancer, organisme dépendant de l'OMS – Organisation Mondiale de la Santé), a classé le dioxyde de titane comme cancérigène possible de l'homme (classe 2B) lorsqu'il est inhalé (sous toutes ses tailles, y compris sous la forme de nano). Le noir de carbone est également classé comme cancérigène possible chez l'homme (2B). Quant aux nanoparticules d'argent, l'Agence française de sécurité sanitaire (ANSES) estime que les risques sont suffisamment documentés pour les classer comme substances dangereuses dans le cadre du règlement CLP (qui réglemente l'étiquetage des substances dangereuses). Idem pour les nanotubes de carbone pour lesquels l'ANSES préconise aussi un classement comme substance dangereuse et des mesures de restriction d'usage voire d'interdiction pour des applications grand public.

Un rapport<sup>9</sup> d'un institut québécois spécialisé dans les questions de santé et sécurité au travail conclut au sujet des nano « Quoique de grandes tendances se dessinent et démontrent de nombreux effets toxiques reliés aux nano, il ressort que chaque produit pourrait avoir une toxicité qui lui est propre. Les effets toxiques documentés sur des animaux de même que les caractéristiques physico-chimiques des nano justifient, sur la base d'une approche de prévention et du principe de précaution, de prendre dès à présent, toutes les mesures nécessaires pour limiter l'exposition afin de protéger la santé des personnes potentiellement exposées. »

<sup>9</sup> « Effets sur la santé reliés aux nanoparticules », Claude Ostiguy et al., IRSST (Institut de recherche Robert Sauvé en santé et en sécurité au travail), avril 2008.

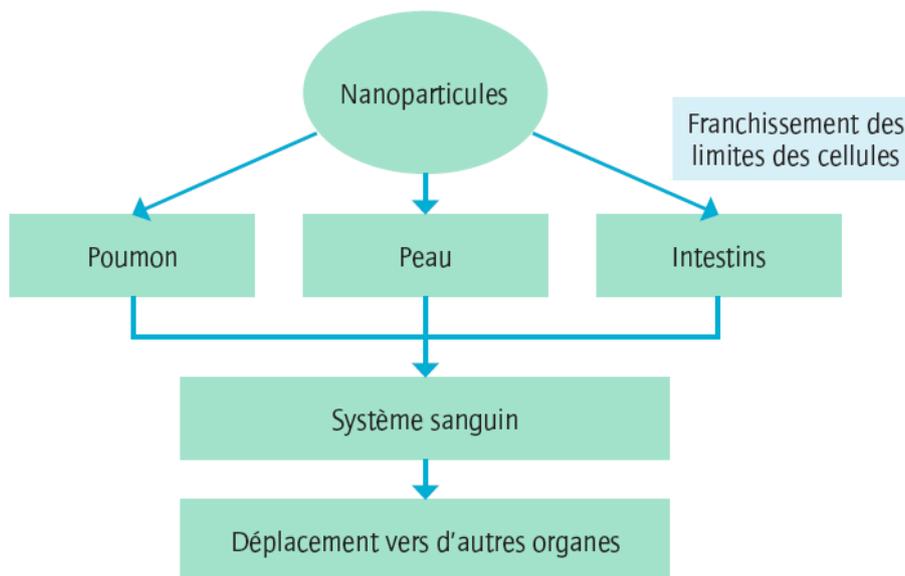
Si l'on considère le développement continu des nouvelles particules et l'impossibilité de tester les effets sur la santé de toutes ces nouveautés<sup>10</sup>, l'application du principe de précaution semble dès lors être la seule voie à suivre pour protéger la santé des travailleurs et des consommateurs.

### **Les voies d'exposition**

Les nano peuvent pénétrer le corps de trois façons :

- par inhalation : c'est la voie d'exposition la plus fréquente. Les nano inhalées provoquent une inflammation des voies respiratoires et endommagent les tissus. Les fibres d'amiante ou de silice provoquent le même phénomène. Les nano inhalées peuvent pénétrer le système sanguin et lymphatique et migrer vers des organes et s'accumuler dans les cellules ;
- par absorption par la peau ou les muqueuses (y compris des yeux). Ce sont les risques liés à ce type d'exposition qui sont les moins documentés ;
- par ingestion : souvent à l'insu, en portant en bouche des mains sales par exemple ou par le mucus lorsqu'il est avalé. Par ingestion, les nano peuvent provoquer des lésions au foie suite à une réaction immunitaire et inflammatoire.

Ces trois voies d'exposition peuvent éventuellement être simultanées, par exemple lors de manipulation des nano sous forme de poudre.



Source : Les nanomatériaux sur le lieu de travail. Quels enjeux pour les travailleurs ? Aïda Maria Ponce Del Castillo, chargée de recherche, ETUI.

### **Effets toxiques potentiels**

- Inflammations
- Toxicité, mutations et dommages génétiques
- Dépression du système immunitaire
- Dégradation des constituants cellulaires
- Perturbation de la circulation sanguine (oblitération des vaisseaux sanguins)
- Perturbations endocriniennes

<sup>10</sup> D'autant qu'il semblerait que les traitements post-production appliqués à la majeure partie des nano puissent modifier radicalement les propriétés toxicologiques.

### **Facteurs dont peuvent dépendre la toxicité des nano**

- Combinaison avec d'autres agents chimiques (agrégation, agglomération) / pureté
- Composition chimique
- Structure, forme
- Nombre de particules par unité de volume
- Surface des particules
- Solubilité dans l'eau, dans les graisses (liposolubilité)
- Capacité à se biodégrader
- Caractéristiques de la personne exposée (âge, sexe, pathologies, antécédents médicaux)
- Type d'exposition (méthodes de fabrication et d'utilisation, quantités utilisées)
- Durée d'exposition

## **4.3 Quelles dispositions pour protéger les travailleurs ?**

### **4.3.1 Règlementation pour la protection des travailleurs**

Dans le cadre de la loi sur le bien-être au travail, l'employeur est tenu d'effectuer une analyse des risques qui tient compte des différents scénarios d'exposition des travailleurs. Il doit appliquer les principes généraux de prévention, c'est-à-dire notamment (repris par l'article 5 de la loi du 4 août 1996 relative au bien-être des travailleurs lors de l'exécution de leur travail) :

- éviter les risques ;
- évaluer les risques qui ne peuvent être évités ;
- combattre les risques à la source ;
- substituer (remplacer ce qui est dangereux par ce qui ne l'est pas ou moins) ;
- prendre des mesures de protection collectives par priorité à des mesures de protection individuelles.

Il n'existe pas (encore) de législation spécifique à l'exposition professionnelle aux nano. Toutefois, les nano étant des agents chimiques, les mesures relatives à la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés à des agents chimiques sur leur lieu de travail (AR du 11 mars 2002) sont d'application pour la problématique des nano. Dans ce cadre, l'employeur est tenu de maintenir l'exposition aussi basse que possible. Il n'existe pas pour l'instant de valeurs limites pour des substances sous forme nano dans la législation belge. Certains pays se sont essayés à fixer des valeurs limites (voir encadré ci-après) mais elles ne semblent pas toujours étayées d'un point de vue toxicologique. Les connaissances scientifiques sur la toxicité des nano sont tout simplement insuffisantes pour arriver à établir des valeurs limites qui puissent garantir l'absence d'impact sur la santé. Par conséquent, ce sera toujours le niveau d'exposition le plus bas qui devra être recherché.

Le caractère cancérigène et/ou mutagène fortement soupçonné de certaines nano permettra également l'application des dispositions de l'AR du 2 décembre 1993 sur les agents cancérigènes et mutagènes.

### **Valeurs-limites d'exposition (VLEP)**

Il n'en existe pas en Belgique ni au niveau européen mais certains pays en ont établi. C'est le cas des Etats-Unis (plus gros producteur mondial de nano). Ils recommandent par exemple :

- pour les nanoparticules de dioxyde de titane (TiO<sub>2</sub>) : 0,3 mg/m<sup>3</sup> ;
- 1 µg/m<sup>3</sup> pour les nanotubes de carbone (NTC) et les nanofibres de carbone.

Le Royaume-Uni et l'Allemagne en ont fixé également.

### **4.3.2 Registre belge des nanomatériaux**

La Belgique s'est dotée d'une législation visant à mettre en place un registre des nanomatériaux (AR relatif à la mise sur le marché des substances manufacturées à l'état nanoparticulaire du 27 mai 2014). Les substances manufacturées à l'état nanoparticulaire et les mélanges contenant des nanoparticules devront être enregistrées préalablement à leur mise sur le marché. S'il existe un risque pour les travailleurs ou les consommateurs, les autorités belges pourront exiger du demandeur des informations détaillées sur les risques et dangers. Ce registre devrait permettre d'améliorer la traçabilité des matériaux contenant des nano et d'élargir les connaissances scientifiques en matière de toxicité.

Le registre devra être opérationnel au 1<sup>er</sup> janvier 2016 en ce qui concerne les substances et pour le 1<sup>er</sup> janvier 2017 pour les mélanges. Les articles seront enregistrés ultérieurement après évaluation.

La Belgique est le second pays, après la France, à se doter d'un tel outil. Des initiatives vont également dans ce sens en Suède, au Danemark, en Italie et aux Pays-Bas.

L'article 23 de l'AR du 27 mai 2014 prévoit une information du CPPT à propos des produits sous forme nano utilisés dans l'entreprise. Il modifie l'article 14 de l'AR du 3 mai 1999 relatif aux missions et fonctionnement du CPPT. Par cet addendum, l'employeur est tenu de fournir au Comité, et à défaut à la DS et à défaut de DS, directement aux travailleurs, toutes les informations nécessaires sur les produits qu'il enregistre ou notifie dans le cadre du registre belge des nanomatériaux ou pour lesquels il a reçu un numéro d'enregistrement ou de notification.

Un gros bémol à souligner cependant : l'arrêté royal ne prévoit rien en ce qui concerne l'enregistrement des travailleurs exposés.

Consulter l'AR du 27/5/2014 :

[http://www.admb.be/portal/page/portal/images/ikmo/kb\\_ar\\_27%2005%202014-bs\\_mb\\_24%2009%202014-stoffen%20nanoparticulaire%20toestand.pdf](http://www.admb.be/portal/page/portal/images/ikmo/kb_ar_27%2005%202014-bs_mb_24%2009%202014-stoffen%20nanoparticulaire%20toestand.pdf)

### **Règlements REACH et CLP**

Les règlements REACH (règlement européen sur l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques) et CLP (règlement européen sur la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances et mélanges) ne spécifient aucune exigence particulière par rapport aux nano. Or, les nano répondent à la définition de substance utilisée par ces règlements qui, par conséquent, s'appliquent aux nanomatériaux.

Ces règlements ne sont pas conçus pour s'appliquer aux risques spécifiques des nano et ils présentent de nombreuses lacunes. Avec comme conséquence que, dans les faits, très peu de nanomatériaux ont fait l'objet d'un enregistrement dans REACH alors que le marché des nano concerne déjà des centaines de nanomatériaux. Ainsi en février 2012, seules 7 substances sous forme nano avaient été enregistrées dans le cadre de REACH et 18 substances sous forme nano avaient fait l'objet d'une notification CLP.

La Confédération européenne des syndicats estime que la législation européenne actuelle ne permet pas de protéger efficacement les travailleurs qui sont en contact avec des nanomatériaux. Elle appelle, tout comme le parlement européen, à construire une législation spécifique qui permettrait de remédier aux lacunes de REACH. La Commission européenne estime a contrario que ce n'est pas nécessaire et a proposé des révisions des annexes de REACH pour intégrer la problématique des nano. Depuis 2013, cette procédure est en cours.

### **4.3.3 Recommandation de la Commission européenne**

En 2011, la Commission européenne a édité une recommandation spéciale portant sur la définition des nanomatériaux. Cette dernière est utilisée dans le cadre des règlements REACH et CLP.

## 4.4 Surveillance de la santé des travailleurs

La réglementation sur la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés à des agents chimiques sur leur lieu de travail (AR du 11 mars 2002) étant d'application pour la problématique des nano, les travailleurs exposés doivent être soumis à une surveillance de la santé puisqu'ils exercent une activité à risque défini. L'AR du 28 mai 2003 sur la surveillance de la santé des travailleurs s'applique également.

En résumé, les obligations de l'employeur en matière de surveillance prévention de la santé sont les suivantes :

- une évaluation périodique de la santé du travailleur, au moins une fois par an ;
- une évaluation à l'arrivée du travailleur dans le service ;
- une évaluation à la reprise du travail après une absence de plus de 4 semaines ;
- une évaluation à la demande du travailleur ;
- une surveillance prolongée de la santé du travailleur est mise en place après cessation de l'exposition, que le travailleur ait ou non quitté l'entreprise où il a été exposé.

Il n'existe pas de guideline à propos du suivi médical des travailleurs exposés aux nano (de type marqueurs sanguins à vérifier, examens radiologiques, etc.). Cependant, le risque principal étant lié à l'inhalation de nano, il semblerait logique de procéder au moins à un examen de santé général et à un examen de la fonction respiratoire.

Le CPPT a son mot à dire à propos de la surveillance de la santé des travailleurs, notamment :

- au niveau de la prise en compte des risques auxquels les travailleurs sont soumis : il faut que l'exposition aux nano fasse l'objet d'une analyse de risques et que ce risque soit établi ;
- au niveau des listes nominatives de surveillance de la santé, annexées au plan annuel d'action, pouvant être modifiées seulement avec l'accord du CPPT ;
- sur les mesures collectives prises suite à évaluations de santé.

## 4.5 Agir sur la question des nanotechnologies via les organes de concertation : que faire ?

### 4.5.1 Prévenir les risques d'exposition des travailleurs

Plusieurs points sont essentiels pour éviter et limiter l'exposition des travailleurs aux nanomatériaux.

L'approche générale de prévention du risque telle qu'elle est prévue dans la loi sur le bien-être au travail et de manière plus particulière dans la législation sur les agents chimiques est d'application pour les nano (AR du 11/3/2002) et celle sur les agents cancérigènes et mutagènes (AR du 2/12/1993).

Les employeurs doivent :

- appliquer le principe de substitution : c'est-à-dire remplacer les nanomatériaux par un matériau ou une technologie moins ou pas dangereuse ;
- à défaut, réduire l'exposition au niveau le plus bas possible en limitant au minimum le nombre de travailleurs exposés, la durée et l'intensité de l'exposition. Les mesures collectives suivantes contribuent à empêcher la diffusion des nano dans l'air ambiant :
  - manipuler les nano sous forme liquide, agglomérée, de gel ou de pastilles plutôt que sous forme de poudre ;
  - organiser la production en circuit fermé ;
  - prévoir des locaux en dépression et pourvus de sas ;

- aspirer l'air à la source (utilisation de hottes, de boîtes à gants) et filtrer l'air ;
- limiter certaines opérations comme le transvasement, l'échantillonnage, le conditionnement, etc. ;
- choisir des sols lisses et les nettoyer avec des aspirateurs spéciaux (avec filtres) et avec des linges humides ;
- délimiter et bien signaler les zones de travail et en limiter l'accès ;
- stocker dans des contenants hermétiques et bien étiquetés, à l'abri de la chaleur, des matières inflammables, de l'humidité et de la lumière ;
- collecter les déchets comme des déchets dangereux.

Des mesures individuelles peuvent également être prises de manière complémentaire mais ne suffisent pas à elles seules dans le cadre d'une exposition régulière :

- des EPI existent pour limiter le contact avec les nano : masques complets filtrants, gants, lunettes avec protection latérale, couvre-chaussures, combinaisons à capuche avec serrages ;
  - interdiction de boire, manger ou fumer dans les zones concernées ;
  - EPI à conserver dans la zone (pas de retour à la maison) et installation de vestiaires doubles (vêtements de travail/vêtements de ville) ;
- former et informer les travailleurs exposés. Les travailleurs, tout comme les membres du CPPT :
- reçoivent les **données** issues de l'analyse des risques et sont en outre informés chaque fois qu'un changement survenu sur le lieu de travail entraîne une modification de ces données ;
  - reçoivent des **informations** sur les agents chimiques dangereux (donc ici les nano) se trouvant sur le lieu de travail (noms, localisation des substances, risques pour la sécurité et la santé, etc.) ;
  - reçoivent une **formation et des informations** quant aux précautions appropriées et aux mesures à prendre afin de se protéger et de protéger les autres travailleurs sur le lieu de travail ;
  - reçoivent des informations sur la surveillance de la santé prévue ;
  - ont **accès aux fiches de données de sécurité<sup>11</sup> (FDS)**.

#### 4.5.2 Les questions à poser en CPPT

Plusieurs questions sont fondamentales à poser pour savoir si des nano sont employées dans l'entreprise :

- Emploie-t-on des nanomatériaux dans l'entreprise ?
- Si oui lesquels, sous quelle(s) forme(s) ? et dans quelles activités ?
- Quel est le résultat de l'analyse des risques ?
- Combien de travailleurs sont concernés ? Quelle est la voie d'exposition ? Quels sont les niveaux d'exposition ?
- Quelles sont les mesures préventives mises en place ?
- Quelle information et formation ont reçu les travailleurs exposés ?
- Les FDS ont-elles été adaptées ?
- Combien de travailleurs sont concernés ? Quelles sont les dispositions prévues pour les travailleurs de l'entretien du nettoyage ?
- Quelle surveillance médicale est mise en place ?

Par ailleurs, l'AR du 27 mai 2014 organisant la mise en place d'un registre belge des nanomatériaux entre en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2016 (pour les substances). L'article 23 de l'AR du 27 mai 2014 prévoit une information du CPPT à propos des produits sous forme nano que l'employeur a enregistrés ou notifiés ou

---

<sup>11</sup> Il est toutefois fort rare que les FDS fassent état de risques spécifiques dus à l'état nanoparticulaire.

au sujet desquels il a reçu un numéro d'enregistrement ou de notification. L'employeur est tenu de fournir au Comité toutes les informations nécessaires sur les produits qu'il enregistre ou notifie dans le cadre du registre belge des nanomatériaux. C'est donc l'occasion de faire le point sur cette matière, potentiellement très préoccupante pour la santé des travailleurs.

## 5 Ressources documentaires et bibliographie

### Brochures et articles

- Études et recherches, rapport R558, les effets sur la santé reliés aux nanoparticules, IRSST, avril 2008.
- Hesamag 301 Nanotechnologies : espoirs et incertitudes autour d'une nouvelle révolution, Institut Syndical Européen, 2<sup>e</sup> semestre 2008.
- Les nanomatériaux, sécurité au travail, Agence Française de sécurité sanitaires de l'environnement et du travail (AFSSET), juillet 2008.
- Nanomatériaux sur le lieu de travail : quels enjeux pour la santé des travailleurs, Aïda Marie Ponce Del Castillo, Institut syndical européen, 2013.
- Nanotechnologies : les nanoparticules sont parmi nous, Paul Lannoye, dossier du GRAPPE, octobre 2009.
- Santé au travail : principe de précaution pour les nanomatériaux, Brochure FGTB, novembre 2012.
- Study of the scope of a Belgian national registrar for nanomaterials and products containing nanomaterials, Final report, BIPRO GmbH, 2013.
- Travailler avec les nanomatériaux, séminaire sur la réglementation, les pratiques et le rôle des pouvoirs publics face aux risques incertains, Bruxelles, 29 novembre 2011, rapport.

### Sites

- [veillenanos.fr](http://veillenanos.fr) : site de veille citoyenne entièrement dédié aux nanotechnologies.
- <http://www.etui.org/fr/Themes/Sante-et-securite/Nanotechnologies> : partie du site de l'Institut syndical européen de la CES dédié au thème des nano.
- [echa.europa.eu/fr](http://echa.europa.eu/fr) : site de l'agence européenne pour les produits chimiques (European Chemicals agency).

