

## NANOMATÉRIAUX DANS LE SECTEUR DES SOINS DE SANTÉ: LES RISQUES PROFESSIONNELS ET LEUR PRÉVENTION

Le domaine de la nanotechnologie connaît une évolution rapide et l'utilisation de nanomatériaux est de plus en plus fréquente. Comme dans un grand nombre de secteurs, la nanotechnologie exerce une influence croissante sur le secteur des soins de santé, ce qui accentue le risque d'exposition des travailleurs aux nanomatériaux dans leur milieu professionnel. La nanotechnologie et les nanomatériaux dans les applications médicales peuvent offrir quantité d'avantages. Par exemple, les techniques et approches de miniaturisation ont convergé avec la synthèse chimique et le contrôle de l'assemblage moléculaire pour offrir de séduisantes opportunités en termes de prévention, diagnostic et traitement des maladies. Toutefois, malgré un effort soutenu de recherches, le domaine de la nanotechnologie se développe plus rapidement que les connaissances sur les aspects liés à la santé et à la sécurité des nanomatériaux. Il existe toujours de nombreuses inconnues, ce qui soulève des questions concernant l'évaluation des risques pour la sécurité et la santé au travail (SST).

Cet e-fact explique comment le personnel des soins de santé peut être exposé aux nanomatériaux sur son lieu de travail durant ses activités quotidiennes. Il fournit également des informations sur les mesures pouvant être prises afin d'empêcher des expositions potentielles.

### 1 Introduction

#### 1.1 Le secteur des soins de santé

Une forte proportion de la main-d'œuvre européenne est employée dans le secteur des soins de santé. Selon le plan d'action pour le personnel du secteur des soins de santé au sein de l'UE [1], les offres d'emploi dans ce secteur se multiplient en raison du vieillissement de la population et de l'augmentation de la demande de soins qui en résulte.

Le secteur des soins de santé est composé d'entreprises et de services publics offrant directement ou indirectement différents types de services de soins, tels que des diagnostics, traitements et soins préventifs. Le cadre de ces services de soins est varié et peut inclure des hôpitaux, des cliniques dentaires, des soins médicaux d'urgence mobiles et des maisons de repos. Cet e-fact traite principalement des personnes offrant directement des services médicaux (p. ex. des médecins, des infirmières ou des pharmaciens), ainsi que des travailleurs étroitement liés au secteur des soins de santé, tels que les personnes travaillant dans des laboratoires ou effectuant des activités de nettoyage. Le personnel administratif ou les travailleurs produisant des équipements médicaux ne relèvent pas du champ d'application de cet e-fact et ne sont donc pas concernés.



Auteur: Raya Gergovska

## 1.2 Qu'est-ce qu'un nanomatériau?

Un nanomatériau est un matériau contenant des particules dont au moins une des dimensions est comprise entre 1 et 100 nm <sup>(1)</sup>, une échelle comparable à celle d'un atome ou d'une molécule. Il peut être naturel, dans les cendres d'un volcan par exemple, ou une conséquence involontaire d'activités humaines, dans les gaz d'échappement de diesel. Cependant, un large éventail de nanomatériaux sont fabriqués et commercialisés intentionnellement. Ce sont ces derniers utilisés dans le secteur des soins de santé qui font l'objet de cet «e-facts».

Bien que les nanomatériaux puissent former des agglomérats ou des agrégats pouvant dépasser la taille de 100 nm, ces derniers peuvent se décomposer et libérer des nanomatériaux. C'est pourquoi ces agglomérats/agrégats doivent également être pris en compte dans l'évaluation des risques liés aux nanomatériaux [3, 4].

Une grande part des nanomatériaux sont fabriqués et commercialisés parce qu'ils présentent des propriétés et des comportements spécifiques résultant principalement de leur petite taille (et sont dès lors utilisés sur de multiples plus grandes surfaces) ou d'autres caractéristiques, telles que des surfaces modifiées (pourvues d'un revêtement) ou une morphologie spécifique (forme des particules). Cet e-fact porte uniquement sur les nanomatériaux manufacturés que l'on retrouve dans le secteur des soins de santé et n'aborde pas ceux découlant involontairement d'activités humaines, comme les nanoparticules présentes dans les gaz d'échappement de diesel.

## 2 Nanomatériaux dans le secteur des soins de santé

Une fois dans l'organisme, les nanomatériaux peuvent circuler à travers celui-ci via les vaisseaux sanguins, entrer dans les cellules et interagir avec les biomolécules tant à la surface qu'à l'intérieur des cellules dans de nombreuses parties du corps humain [5]. En raison de cette capacité, les nanomatériaux ont, dans le secteur des soins de santé, le potentiel de dépister des maladies, de fournir des traitements et de permettre de nouvelles méthodes de prévention.

Les principaux avantages de l'utilisation de nanomatériaux sur le plan thérapeutique sont les suivants: solubilité (pour des médicaments autrement insolubles), vecteurs pour des entités hydrophobes, capacité multifonctionnelle, vectorisation active et passive, ligands (exclusion de taille) et toxicité réduite [6]. En outre, en raison de leurs propriétés spécifiques, les nanomatériaux sont également utilisés dans des outils de diagnostic, dans les agents et méthodes d'imagerie et pour les implants et dispositifs issus de l'ingénierie tissulaire.

Les propriétés et comportements des nanomatériaux permettent ainsi le diagnostic, le suivi, le traitement et la prévention de maladies, telles que les maladies cardiovasculaires, le cancer, les troubles musculo-squelettiques et inflammatoires, les maladies neuro-dégénératives et psychiatriques, le diabète et les maladies infectieuses [p. ex. les infections bactériennes et virales, telles que le VIH (virus de l'immunodéficience humaine)] [7].

Le tableau 1 présente certains des nanomatériaux déjà utilisés dans le secteur des soins de santé.

---

(<sup>1</sup>) Conformément à la recommandation de la Commission européenne [1]:

- Un «nanomatériau» est «un matériau naturel, formé accidentellement ou manufacturé contenant des particules libres, sous forme d'agrégat ou sous forme d'agglomérat, dont au moins 50 % des particules, dans la répartition numérique par taille, présentent une ou plusieurs dimensions externes se situant entre 1 nm et 100 nm. La répartition numérique par taille est exprimée comme le nombre d'objets d'une taille déterminée divisé par le nombre total d'objets».
- «Dans des cas spécifiques, lorsque cela se justifie pour des raisons tenant à la protection de l'environnement, à la santé publique, à la sécurité ou à la compétitivité, le seuil de 50 % fixé pour la répartition numérique par taille peut être remplacé par un seuil compris entre 1 % et 50 %.»
- «Par dérogation au point précédent, les fullerènes, les flocons de graphène et les nanotubes de carbone à paroi simple présentant une ou plusieurs dimensions externes inférieures à 1 nm sont à considérer comme des nanomatériaux.»

Tableau 1: principaux types de nanomatériaux utilisés dans les applications médicales

Type de nanomatériau	Applications médicales
Particules métalliques [p. ex. oxyde de fer (III), or ou argent]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Traitement du cancer par hyperthermie</li> <li>▪ Bioséparations magnétiques sélectives</li> <li>▪ Associées à des anticorps contre des antigènes spécifiques des cellules, pour la séparation de la matrice environnante</li> <li>▪ Études du transport membranaire</li> <li>▪ Délivrance de médicaments</li> <li>▪ Agent de contraste pour l'imagerie par résonance magnétique</li> </ul>
Nanoparticules d'argent	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Agent antibactérien</li> <li>▪ Intégrées dans un large éventail de dispositifs médicaux, dont le ciment osseux, les instruments chirurgicaux, les masques chirurgicaux</li> </ul>
Nanoparticules (coquille d'or)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Améliorent la solubilité des médicaments</li> <li>▪ Permettent des conjugaisons supplémentaires</li> </ul>
Nanomatériaux de carbone [fullerènes et nanotubes de carbone (NTC)]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les footballènes (structures en forme de ballon de football constituées de 60 atomes de carbone) sont utilisés dans les systèmes de délivrance des médicaments pour aider au transport optimal et à la libération des médicaments à un endroit ciblé du corps [5]</li> <li>▪ Revêtements pour les prothèses et les implants chirurgicaux</li> <li>▪ NTC fonctionnalisés: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ pour les traitements thérapeutiques;</li> <li>○ pour les applications biomédicales, telles que les endoprothèses vasculaires ainsi que la croissance et la régénération neuronales;</li> <li>○ pour la thérapie génique, un brin d'ADN pouvant être lié à un nanotube</li> </ul> </li> </ul>
Points quantiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Balisage de plusieurs biomolécules pour la surveillance de modifications cellulaires complexes et de processus associés à des maladies</li> <li>▪ Technologie optique [8]</li> <li>▪ Technologies de dépistage et de diagnostic des maladies</li> </ul>
Dendrimères	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Macromolécules polymérisées, structures fortement ramifiées possédant des nanocavités ou canaux intérieurs avec des propriétés différentes de celles à l'extérieur</li> <li>▪ Utilisés comme vecteurs pour une variété de médicaments (anticancéreux, antiviraux, antibactériens, etc.) avec la possibilité d'accroître la solubilité et la biodisponibilité de médicaments peu solubles</li> </ul>
Nanoparticules lipidiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Peuvent fusionner avec la membrane cellulaire et acheminer des molécules à l'intérieur des cellules</li> </ul>
Nanoparticules céramiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Systèmes inorganiques utilisés comme véhicules de médicaments (si poreux et biocompatibles); utilisées dans des applications cosmétiques (oxyde de zinc, dioxyde de titane)</li> </ul>
Nanotubes, nanofils, nanoparticules magnétiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Technologies de dépistage et de diagnostic des maladies, notamment les microlaboratoires sur puces («lab-on-chip») [8]</li> </ul>

Liste élaborée par les auteurs à partir d'une série de sources [5, 6, 8–11].

Le temps entre l'invention d'un dispositif médical ou d'un médicament et son utilisation dans la pratique clinique est extrêmement long. Toutefois, certaines applications de nanotechnologie sont actuellement en cours de développement et seront disponibles très prochainement. Celles-ci permettront, entre autres, une imagerie médicale améliorée [5], l'utilisation de puces sous-cutanées capables de surveiller en permanence des paramètres clés, dont le pouls, la température et la glycémie [5] et la limitation du transfert et de la croissance pathogènes [8].

### 3 Risques présentés par les nanomatériaux pour le personnel des soins de santé

Bien que les nanomatériaux puissent offrir un grand nombre d'avantages pour les patients dans le secteur des soins de santé, ils peuvent également exposer le personnel de ce secteur à de nouveaux risques.

L'état des connaissances concernant la toxicité des nanomatériaux manufacturés présente toujours des lacunes, ce qui rend difficile l'évaluation des risques (voir e-fact 72 disponible à l'adresse: (<https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-72-tools-for-the-management-of-nanomaterials-in-the-workplace-and-prevention-measures/view>) sur des outils de gestion des risques pour les nanomatériaux). Le principal défi est d'identifier les dangers éventuels auxquels le personnel des soins de santé peut être exposé lorsqu'il travaille avec des nanomatériaux manufacturés ou des nanodispositifs. En raison des propriétés uniques de ces matériaux à l'échelle nanométrique - principalement liées à leur petite taille mais également à la forme des particules, à la nature chimique, à l'état de surface (p. ex. zone de surface, fonctionnalisation de surface, traitement de surface) et à l'état d'agrégation/agglomération [8, 12] - leurs interactions avec le corps humain et par conséquent leurs effets sur la santé devraient être différents de ceux associés aux mêmes matériaux de même composition à l'échelle macroscopique. C'est pourquoi cela soulève des inquiétudes concernant les effets sur la santé pouvant éventuellement découler d'expositions dans un cadre professionnel aux nanomatériaux.

Dans des conditions environnementales normales, les nanomatériaux peuvent former des agglomérats ou des agrégats de plus de 100 nm, modifiant ainsi (mais ne perdant pas nécessairement) leurs propriétés de nanomatériaux. Cependant, des nanomatériaux peuvent être à nouveau libérés d'agglomérats faiblement liés, voire même, dans certaines conditions, d'agrégats plus fortement liés. Des recherches sont actuellement menées afin de déterminer si cela pourrait arriver dans le liquide pulmonaire après inhalation de tels agglomérats ou agrégats [8, 12]. Les agglomérats et agrégats contenant des nanomatériaux doivent donc également être pris en compte dans l'évaluation des risques sur le lieu de travail.

Le mécanisme d'exposition interne, après l'entrée des nanomatériaux dans le corps, peut comprendre une absorption, une distribution et un métabolisme plus grands. Certains nanomatériaux ont, par exemple, pu être identifiés dans les poumons, le foie, les reins, le cœur, les organes de reproduction, le fœtus, le cerveau, la rate, le squelette et les tissus mous [13]. Certaines questions subsistent concernant la bioaccumulation de nanomatériaux et les mécanismes d'élimination des cellules et des organes. Un autre problème réside dans le fait que, bien que non toxique en lui-même, un nanomatériau pourrait agir comme un cheval de Troie, ce qui signifie qu'un matériau plus toxique pourrait se lier au nanomatériau et pénétrer de la sorte, dans le corps, les organes ou les cellules [14].

Les effets toxiques les plus importants de nanomatériaux ont été constatés au niveau des poumons: les chercheurs ont notamment relevé des inflammations, des lésions tissulaires, des conditions de stress oxydatif, une toxicité chronique, une cytotoxicité, des fibroses et des formations de tumeurs. Le système cardiovasculaire peut également être atteint par certains nanomatériaux. Les propriétés potentiellement dangereuses des nanomatériaux manufacturés font l'objet d'une recherche continue [8, 12].

Les nanomatériaux peuvent entrer dans le corps humain par différentes voies, ce qui peut constituer un risque pour la santé des travailleurs:



- **L'inhalation** est la voie d'exposition la plus courante aux nanoparticules véhiculées par l'air sur le lieu de travail [15, 16]. Les nanoparticules inhalées peuvent se déposer dans les voies respiratoires et les poumons, en fonction de leur forme et de leur taille. Après inhalation, elles peuvent franchir l'épithélium pulmonaire, entrer dans la circulation sanguine et atteindre d'autres organes et tissus. Les chercheurs ont également découvert que le cerveau peut être atteint par certains nanomatériaux inhalés via le nerf olfactif.
- **L'ingestion** est possible par contact involontaire entre les mains et la bouche à partir de surfaces contaminées ou par ingestion de nourriture ou d'eau contaminée. L'ingestion peut également être une conséquence de l'inhalation d'un nanomatériau, puisque les particules inhalées évacuées des voies respiratoires par le système mucociliaire peuvent être avalées [15, 16]. Certains nanomatériaux ingérés peuvent franchir l'épithélium intestinal, entrer dans la circulation sanguine et atteindre d'autres organes et tissus.
- **La pénétration cutanée** fait encore l'objet de recherches [15, 16]. Une peau intacte semble représenter une barrière efficace contre l'absorption de nanomatériaux [17]. Une peau abîmée paraît être moins efficace, mais le niveau d'absorption est certainement inférieur qu'en cas d'inhalation. Quoiqu'il en soit, le contact cutané doit aussi être évité et surveillé.

Les nanomatériaux peuvent également pénétrer le corps humain par voie parentérale <sup>(2)</sup>; de manière accidentelle par piqûre d'aiguille, coupures ou d'autres lésions cutanées [15].

Compte tenu des activités exercées dans le secteur des soins de santé, les professionnels les plus susceptibles d'être exposés aux nanomatériaux sont ceux qui préparent et administrent des nanomédicaments ou qui travaillent dans des zones où ces médicaments sont utilisés puisqu'ils peuvent entrer rapidement en contact avec ces agents dispersés dans l'air (p. ex. le personnel de pharmacie, le personnel infirmier, les médecins, les travailleurs des services environnementaux, le personnel d'expédition et de réception).

D'autres situations d'exposition aux nanomatériaux dans le milieu des soins de santé [15] peuvent survenir dans les cas suivants:

- évacuation des excréments de patients recevant des nanomédicaments;
- éclaboussures de nanomatériaux;
- manipulation de matériel contaminé;
- consommation d'aliments ou de boissons ayant été en contact avec des nanomédicaments;
- nettoyage et entretien de zones où des nanomédicaments sont manipulés.

Le fraisage, le forage, le meulage et le polissage de matériaux médicaux appliqués contenant des nanomatériaux lors d'interventions dentaires et chirurgicales représentent de possibles situations d'exposition. C'est par exemple le cas du traitement des caries en soins dentaires, pour lesquels on place généralement des plombages contenant des nanomatériaux (p. ex. plombages en nanocéramique) qui sont ajustés à la forme anatomique en ponçant la surface à l'aide d'outils à grande vitesse. Au cours de cette procédure, il existe un risque que des nanoparticules se dispersent dans l'air et soient inhalées par le patient et le personnel médical.

Certains des risques SST potentiels liés aux nanomatériaux dans le secteur des soins de santé sont présentés dans le tableau 2.

---

<sup>(2)</sup> Lorsqu'un médicament ou une autre substance pénètre dans le corps par voie parentérale, cela se fait par une voie autre que le tractus gastro-intestinal (p. ex. injection).

**Tableau 2: exemples de nanomatériaux utilisés dans le secteur des soins de santé et des dangers pour la santé et risques SST potentiellement posés**

Exemples de nanomatériaux	Dangers pour la santé et risques SST potentiellement posés
Nanomatériaux de carbone	En cas d'inhalation, des recherches montrent que certains types de nanomatériaux de carbone peuvent mener à des troubles pulmonaires, dont des effets similaires à ceux de l'amiante [9]
Dendrimères	<p>Malgré leurs nombreuses possibilités d'application dans le domaine pharmaceutique, par exemple dans l'administration de médicaments anticancéreux, l'utilisation de dendrimères dans le corps humain est limitée en raison de leur toxicité inhérente [11].</p> <p>Un cas de dermatite de contact semblable à un érythème polymorphe résultant d'une exposition à des dendrimères a été signalé [14].</p>
Nanoparticules d'argent	<p>Selon le rapport ENRHES [18], l'utilisation de nanoparticules d'argent représente un risque potentiel pour la santé humaine. Toutefois, l'étude de sa toxicité en est encore à ses balbutiements. Le Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux de l'UE a été invité à émettre un avis scientifique sur les répercussions sur la sécurité, la santé et l'environnement et sur le rôle joué dans la résistance antimicrobienne des nanoparticules d'argent [19]. Des inquiétudes sérieuses surviennent car, à fortes doses, les nanoparticules d'argent peuvent avoir des effets néfastes sur la santé, tels que des œdèmes pulmonaires et des taches sur la peau [3]. En fait, la réaction la plus fréquemment signalée chez l'humain à la suite d'une exposition prolongée à des nanoparticules d'argent est l'argyrie ou l'argyrose (c.-à-d. une décoloration grise ou bleu-gris ou une pigmentation noire de la peau, des ongles, des yeux, des muqueuses ou des organes internes par des dépôts d'argent) [20]. Ces affections sont irréversibles et incurables [20].</p> <p>Dans le secteur des soins de santé, les nanoparticules d'argent ont été utilisées comme agent antibactérien dans les pansements pour protéger les patients atteints de graves brûlures contre les infections. Il s'agit de l'un des principaux risques d'exposition pour le personnel des soins de santé. Par ailleurs, des préoccupations relatives aux effets néfastes indirects des nanoparticules d'argent sur la santé humaine en raison d'une augmentation de la résistance des micro-organismes à l'argent ont été soulevées [19].</p> <p>Dans le cadre de recherches menées sur des rats, il a été établi que les nanoparticules d'argent peuvent atteindre le cerveau via les voies respiratoires supérieures [12]</p>
Dioxyde de titane (TiO <sub>2</sub> )	En cas d'inhalation, les particules de TiO <sub>2</sub> ont été classées par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) comme «potentiellement cancérigènes pour l'homme» (groupe 2B) [21]. Le NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), aux États-Unis, a recommandé un plus faible seuil d'exposition pour les particules ultrafines de TiO <sub>2</sub> : 0,3 mg/m <sup>3</sup> pour les nanoparticules de TiO <sub>2</sub> (<100 nm) contre 2,4 mg/m <sup>3</sup> pour les particules fines (>100 nm) [22]
Nanoparticules d'or	Des chercheurs ont étudié la toxicité des nanoparticules d'or en cas d'inhalation par des rats et ont constaté une accumulation d'or dans les poumons et les reins [23]

Source: liste élaborée par les auteurs.

Outre les risques sanitaires, l'aérosolisation de nanopoussière ou de nanoparticules combustibles peut présenter un risque d'explosion ou d'incendie.

Une évaluation et une gestion adéquates des risques SST potentiels liés aux nanomatériaux dans le secteur des soins de santé sont essentielles afin de protéger correctement la sécurité et la santé des travailleurs.

## 4 Prévention

Conformément à la directive européenne 89/391/CEE [24], les employeurs doivent procéder régulièrement à des évaluations des risques sur le lieu de travail et mettre en œuvre des mesures de prévention adéquates, ce qui s'applique également aux risques potentiels liés aux nanomatériaux sur le lieu de travail. De plus, la directive 98/24/CE concernant les agents chimiques sur le lieu de travail [25] impose des dispositions plus strictes pour la gestion des risques liés à des substances au travail, dispositions qui s'appliquent aussi aux nanomatériaux puisqu'ils correspondent à la définition de «substances».

Par conséquent, l'évaluation obligatoire des risques sur le lieu de travail et la hiérarchie des mesures de contrôle [suppression, substitution, mesures techniques à la source, mesures organisationnelles et équipement de protection individuelle (EPI) en dernier ressort] prévues dans ces directives de protection des travailleurs s'appliquent également aux lieux de travail dans le secteur des soins de santé et aux nanomatériaux.

En outre, si un nanomatériau, ou le matériau de même composition à l'échelle macroscopique, est cancérigène ou mutagène, la directive 2004/37/CE sur les agents cancérigènes ou mutagènes au travail [26] doit être respectée. Quoi qu'il en soit, les dispositions de la législation nationale peuvent être plus strictes et doivent être consultées.

Cependant, l'évaluation des risques liés aux nanomatériaux sur le lieu de travail peut, de manière générale, s'avérer difficile en raison des limitations actuelles en termes:

1. de connaissances des propriétés dangereuses des nanomatériaux;
2. de méthodes et dispositifs disponibles pour l'identification des nanomatériaux et des sources d'émission, ainsi que pour la mesure des niveaux d'exposition;
3. d'informations sur la présence de nanomatériaux, en particulier dans des mélanges ou des articles, ainsi qu'en aval, dans la chaîne d'utilisateurs, lorsque des nanomatériaux ou des produits contenant des nanomatériaux sont utilisés ou traités.

Les fiches de données de sécurité (FDS), qui représentent un instrument important d'information pour la prévention des risques liés à des substances dangereuses sur le lieu de travail, contiennent en général peu d'informations, voire aucune concernant la présence de nanomatériaux et leurs caractéristiques, les risques pour les travailleurs et la prévention [13, 27–29]. Il est dès lors conseillé aux organisations de contacter les fournisseurs pour obtenir des informations complémentaires.

Par ailleurs, les nanomatériaux étant considérés comme des substances, le règlement REACH (relatif à l'enregistrement, à l'évaluation et à l'autorisation des substances chimiques) [30] et le règlement CLP (relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges) [41] sont tout aussi pertinents. Des modifications de l'annexe II du règlement REACH [31], le cadre légal pour les FDS, ainsi que du guide de l'agence européenne des produits chimiques (ECHA) sur les FDS [32], qui fournit des conseils supplémentaires sur la gestion des caractéristiques des nanomatériaux, devraient améliorer la qualité des informations contenues dans les FDS. L'e-fact 72 (<https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-72-tools-for-the-management-of-nanomaterials-in-the-workplace-and-prevention-measures>) présente les guides et outils disponibles afin d'aider les entreprises à gérer les risques liés aux nanomatériaux dans le contexte des limitations actuelles et de l'état de la recherche. Actuellement, aucun guide spécifique n'est disponible pour la prévention des risques SST liés aux nanomatériaux dans le secteur des soins de santé. Toutefois, les mesures recommandées dans d'autres secteurs (p. ex. pour les laboratoires de recherche [33]) sont partiellement applicables et les principes et approches fondamentaux peuvent être transférés au secteur des soins de santé.

## 4.1 Élimination et substitution

Comme pour toutes les autres substances dangereuses, l'élimination et la substitution doivent avoir la priorité sur toute autre mesure de prévention (c.-à-d. que l'objectif est d'empêcher l'exposition de tous les travailleurs aux nanomatériaux). Néanmoins, dans de nombreux cas, les agents chimiques, médicaments ou dispositifs contenant des nanomatériaux sont utilisés dans le secteur des soins de santé en raison de leurs propriétés spécifiques et parce qu'ils remplissent une fonction spéciale. C'est pourquoi, lorsqu'un nanomatériau présente un risque pour le personnel des soins de santé, son élimination ou sa substitution par une alternative moins dangereuse n'est pas toujours une option envisageable, la solution de rechange n'affichant pas aisément les mêmes propriétés et effets (positifs) recherchés. Il faut cependant toujours garder à l'esprit l'équilibre entre les propriétés et effets recherchés d'une part et les risques sanitaires d'autre part et examiner de manière approfondie les possibilités d'élimination et de substitution. De plus, il peut être possible:

- d'éviter la présence de nanomatériaux pouvant se disperser dans l'air (tels que des poudres ou poussières) en ayant recours à une forme moins dangereuse, p. ex. par solubilisation des formes en poudre de nanomatériaux dans des liquides, des pâtes, des granulés ou des composés ou par liaison à des matières solides;
- de réduire le comportement dangereux en modifiant la surface du nanomatériau, par exemple à l'aide d'un revêtement afin d'en ajuster la pulvérulence, la solubilité et d'autres propriétés.

## 4.2 Contrôles techniques

En raison de la nature du travail dans le secteur des soins de santé, la plupart des lieux de travail, tels que les chambres des patients dans les hôpitaux ou même le domicile des patients, ne sont pas équipés de systèmes techniques pour la réduction ou la prévention de l'exposition aux nanomatériaux à la source, par exemple des systèmes fermés créant une barrière physique entre une personne et le nanomatériau. Cependant, des contrôles techniques à la source sont réalisables dans le cadre d'autres activités, telles que la préparation de médicaments contenant des nanomatériaux (comprimés ou pommades en cabines de protection p. ex.).

Les bancs stériles avec filtres HEPA (haute efficacité pour les particules aériennes) sont une autre mesure efficace de prévention des risques pour les activités telles que la préparation de nanomédicaments, d'échantillons de tissus de patients, de liquides corporels ou d'excréments susceptibles de contenir des nanomatériaux (si le patient est traité avec des nanomédicaments) ou pour la préparation ou l'analyse d'échantillons à l'aide de produits chimiques d'analyse contenant des nanomatériaux. L'exposition aux éclaboussures, poussières ou vapeurs de nanomatériaux provenant d'échantillons ou de produits de préparation d'échantillon doit être contrôlée à l'aide d'un système de ventilation à rendement élevé combiné à un EPI, en particulier des gants et masques (voir rubrique 4.4).

Des systèmes de ventilation par aspiration locale sont normalement installés sur les lieux de travail en laboratoire, dans les salles d'opération ou dans les zones avec des normes de sécurité élevées (p. ex. en raison du risque d'infection), ainsi que dans les zones de stockage. De tels systèmes captent également les nanomatériaux. Dans le cas des nanomatériaux toutefois, on recommande l'utilisation de filtres normaux à plusieurs niveaux se terminant par des filtres haute efficacité pour les particules aériennes (HEPA H14) ou des filtres à air à pénétration ultra faible avant la réintroduction de l'air extrait. Quoi qu'il en soit, l'adéquation des systèmes de filtration utilisés doit être évaluée.

## 4.3 Mesures organisationnelles

Parmi les mesures de prévention à appliquer sur les lieux de travail du secteur des soins de santé dans lesquels des nanomatériaux dangereux sont utilisés, citons:

- des zones ou des lieux de travail dédiés spécifiquement à la manipulation de nanomatériaux qui sont séparés des autres lieux de travail et font l'objet d'une signalisation adéquate;
- la réduction au maximum du nombre de travailleurs exposés aux nanomatériaux;



- la réduction au maximum de la durée d'exposition des travailleurs aux nanomatériaux;
- l'interdiction d'accès au personnel non autorisé;
  - le nettoyage régulier (serpillère humide) des zones de travail où des nanomatériaux sont utilisés ou manipulés;
  - la surveillance des niveaux de concentration dans l'air, p. ex. en comparaison aux niveaux de fond en l'absence de manipulation de nanomatériaux.



Auteur: Jim Holmes

En l'absence d'approche standardisée en matière d'utilisation de signalisation de sécurité ou d'étiquetage des lieux de travail ou des conteneurs avec des nanomatériaux, il est recommandé d'adopter une approche diligente en utilisant des phrases de risques et de sécurité issues du règlement européen relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges (CLP) [41] et des signaux d'avertissement destinés à fournir des informations adéquates, pertinentes et spécifiques sur des risques de sécurité et de santé réels ou potentiels liés à l'utilisation et à la manipulation de nanomatériaux.

De plus, certains principes généraux doivent être suivis, s'appliquant indépendamment de l'implication de nanomatériaux:

- La planification du travail doit reposer sur l'évaluation des risques et se faire avec la participation des travailleurs. Si le travail est effectué sur des lieux de travail impliquant la manipulation de nanomatériaux dont la toxicité et le comportement sont inconnus, cela doit être pris en compte. La priorité dans la gestion des risques ne doit pas être accordée uniquement aux risques connus, mais également à l'évaluation et à la gestion des nanomatériaux sur les lieux de travail pour lesquels des informations sur les dangers et l'exposition sont incertaines, incomplètes ou manquantes.
- Toute contrainte temporelle doit être évitée.
- Une formation suffisante doit être dispensée pour garantir que les travailleurs disposent des compétences et des connaissances requises pour effectuer les tâches en toute sécurité et se protéger contre l'exposition à toute libération de nanomatériau.
- Les instructions et informations doivent toujours être communiquées à l'ensemble des travailleurs, surtout lorsque ceux-ci sont engagés pour une seule tâche ou ne sont pas familiarisés avec les risques chimiques de manière générale et les risques liés aux nanomatériaux en particulier (p. ex. le personnel d'entretien, étudiants-assistants). Elles doivent comprendre des mesures de protection, par exemple concernant la manipulation en toute sécurité de produits pharmaceutiques ou d'échantillons contenant des nanomatériaux, le meulage ou le polissage de plombages ou de surfaces contenant des nanomatériaux et l'élimination de produits. Ces informations doivent aussi être consignées dans des instructions sur le lieu de travail.
- Adoption du principe de précaution en ce qui concerne la prévention des risques liés aux nanomatériaux: toutes les mesures disponibles doivent être mises en œuvre, conformément à la hiérarchie des mesures de prévention, pour réduire la libération de nanomatériaux.

Les travailleurs qui manipulent des nanomatériaux potentiellement dangereux, ou y sont exposés d'une quelconque autre manière, doivent être intégrés dans des programmes de surveillance de la santé avec une documentation détaillée des situations d'exposition.

#### 4.4 Équipement de protection individuelle (EPI)

L'EPI doit être utilisé en dernier recours lorsque les mesures mentionnées ci-dessus ne suffisent pas à réduire efficacement l'exposition. Lorsqu'il ressort de l'évaluation des risques qu'un EPI est nécessaire, un programme correspondant doit être établi. Un bon programme EPI sera composé des éléments

suivants: sélection de l'EPI approprié, ajustement et entretien de l'EPI et formation correspondante. Les travailleurs dans le secteur des soins de santé sont susceptibles d'utiliser un EPI durant leurs activités en raison d'autres risques pour la santé (p. ex. agents biologiques) <sup>(3)</sup> [34]. Cependant, l'EPI utilisé doit être évalué quant à son adéquation pour la manipulation de nanomatériaux.

Le rythme de travail et l'aptitude physique de l'utilisateur d'EPI doivent être évalués afin de garantir que l'EPI fournit le niveau approprié de protection et peut être utilisé correctement. Des tests effectués sur l'EPI doivent confirmer que les utilisateurs sont en mesure d'exécuter leurs tâches en toute sécurité et d'utiliser tout autre équipement (des lunettes p. ex.) ou outils nécessaires lorsqu'ils portent l'EPI. Il convient de garder à l'esprit que le niveau de protection fourni par l'EPI peut diminuer en cas d'utilisation simultanée de différents EPI. Des dangers supplémentaires, autres que des nanomatériaux, peuvent également interférer et réduire l'efficacité de l'EPI. Il convient donc de prendre en compte l'ensemble des dangers présents sur le lieu de travail lors du choix de l'EPI. Tous les EPI utilisés doivent être munis du marquage CE et être employés conformément aux instructions du fabricant sans aucune modification.

#### 4.4.1 Protection respiratoire

Pour les activités impliquant des nanomatériaux dispersés dans l'air, par exemple le meulage, le sablage ou le fraisage de couronnes ou d'implants contenant des nanomatériaux, des systèmes de ventilation par aspiration locale peuvent être insuffisants. Dans ces cas, une protection respiratoire doit aussi être utilisée. Les filtres HEPA, les cartouches de protection respiratoire et les masques avec des matériaux de filtration fibreux sont efficaces contre les nanomatériaux transportés dans l'air. Les demi-masques ou masques complets avec filtres P3/FFP3 ou P2/FFP2 sont considérés comme efficaces pour la protection contre de telles expositions. Les filtres d'un facteur de protection 3 fournissent une meilleure protection que ceux d'un facteur 2 [35, 36]. Les masques doivent être suffisamment serrés [36], des essais réguliers d'ajustement doivent être mis en place pour tous les utilisateurs.

Le choix d'un appareil de protection respiratoire (APR) dépendra des éléments suivants:

- du type, de la taille et de la concentration de nanomatériaux diffusés dans l'air;
- du facteur de protection attribué à l'APR (qui intègre l'efficacité de filtration et l'étanchéité); et
- des conditions de travail.

Lorsque les appareils respiratoires ne couvrent pas les yeux, des lunettes de protection doivent aussi être utilisées (lunettes de sécurité à protection intégrale).

#### 4.4.2 Gants

Des gants sont souvent utilisés dans le secteur des soins de santé. Seuls les gants qui satisfont aux exigences de la série de normes EN 374 <sup>(4)</sup> doivent être utilisés contre les risques chimiques en général. Dans le cas des nanomatériaux, les gants en polymères synthétiques, tels que le latex, le nitrile ou le néoprène, se sont avérés efficaces [36]. L'efficacité de gants pour un nanomatériau spécifique dépendra de la forme dans laquelle ce dernier est utilisé sur le lieu de travail (poussières, liquides, etc.) et il convient de vérifier ce point expressément auprès du fournisseur de gants. L'épaisseur des matériaux des gants est un facteur essentiel pour déterminer le taux de diffusion du nanomatériau. C'est pourquoi l'utilisation simultanée de deux paires de gants est recommandée [37].

<sup>(3)</sup> La directive européenne 89/686/CEE réglemente la conception et l'utilisation des EPI et veille à ce qu'ils remplissent la fonction prévue de protection des travailleurs contre des risques spécifiques.

<sup>(4)</sup> EN 374-1:2003: Gants de protection contre les produits chimiques et les micro-organismes - Partie 1: Terminologie et exigences de performance; EN 374-2:2003: Gants de protection contre les produits chimiques et les micro-organismes - Partie 2: Détermination de la résistance à la pénétration; EN 374-3:2003: Gants de protection contre les produits chimiques et les micro-organismes - Partie 3: Détermination de la résistance à la perméation des produits chimiques.

### 4.4.3 Vêtements de protection

Les textiles non tissés (matériaux étanches à l'air), tels que du polyéthylène haute densité (faible rétention de poussière et faible libération de poussière), doivent être préférés aux textiles tissés, tandis que l'utilisation de vêtements de protection en coton doit être évitée [36].

Si des vêtements de protection réutilisables tels que des salopettes sont employés, des dispositions doivent être prises pour un lavage régulier et la prévention d'une exposition secondaire. Des dispositions doivent être prises pour permettre d'enfiler les salopettes et les sarraus de protection propres et de se débarrasser des sales de telle façon qu'ils ne contaminent pas les personnes ou le lieu de travail en général.

## 4.5 Prévention des explosions ou incendies

Du fait de leur petite taille, les nanomatériaux sous forme de poudre peuvent présenter des risques d'explosion, contrairement aux matériaux grossiers dont ils sont issus <sup>(5)</sup> [38]. Il convient d'être vigilant lors de la génération de nanopoudres (p. ex. lors du meulage, du sablage ou du polissage d'implants et de couronnes contenant des nanomatériaux) ou de leur manipulation (p. ex. lors du mélange, du nettoyage ou de l'élimination de telles poudres).

Les mesures de prévention pour les nanomatériaux sous forme de poudre sont essentiellement les mêmes que celles pour tout autre matériau grossier explosif et inflammable et nuage de poussières explosives. Elles doivent respecter les exigences de la directive 99/92/CE concernant les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives. Parmi celles-ci:

- les pharmaciens doivent, par exemple, limiter la manipulation de tels matériaux à des zones ATEX spécifiques et exécuter les tâches dans des atmosphères inertes, si possible;
- les matériaux doivent être solubilisés en humidifiant le lieu de travail (afin d'éviter les poussières);
- les équipements à étincelles de faible puissance et autres sources d'inflammation, ou les conditions de formation de charge électrostatique, doivent être écartés du lieu de travail et remplacés, si possible, par de l'équipement à sécurité intrinsèque (circuits de commande et de signalisation à basses tensions et faibles courants);
- les dépôts de poussière doivent être enlevés avec une serpillère humide;
- le stockage de matériaux explosifs ou inflammables sur les lieux de travail doit être réduit au maximum. Des sacs antistatiques peuvent être utilisés.

## 4.6 Vérification de l'efficacité des mesures

L'évaluation des risques doit être régulièrement revue et le choix et la mise en œuvre des mesures de gestion des risques doivent être régulièrement contrôlés et vérifiés quant à leur efficacité. Cela implique de s'assurer du bon fonctionnement de tous les équipements de protection, tels que les bancs stériles ou cabines à flux laminaire, et des inspections régulières de tous les équipements de ventilation et de leurs systèmes de filtration respectifs. En outre, l'adéquation de l'EPI doit être vérifiée et, au besoin, adaptée.

De plus, l'efficacité d'une mesure de réduction des risques peut être évaluée en analysant la concentration de nanomatériaux dans l'air avant et après sa mise en œuvre. Les niveaux d'exposition mesurés une fois les mesures de gestion des risques appliquées ne doivent pas différer significativement des concentrations de fond en l'absence de source de nanomatériaux manufacturés. D'autres mesures indirectes visant à déterminer l'efficacité des mesures techniques de prévention peuvent également être appliquées, telles que des tests de fumée ou des mesures de la vitesse de contrôle.

<sup>(5)</sup> Les risques d'explosion de la plupart des poussières organiques et de nombreuses poussières métalliques augmentent avec la diminution de la taille des particules. La limite supérieure de la taille des particules d'un nuage de poussières explosives semble être de 500 µm. Actuellement, aucune limite de taille n'a pu être déterminée en dessous de laquelle les explosions de poussières peuvent être exclues.

Des valeurs limites d'exposition professionnelle (LEP) pour les nanomatériaux <sup>(6)</sup> [39, 40] pourraient être élaborées à l'avenir. Toutefois, la minimisation de l'exposition doit être l'objectif principal de la gestion des risques sur le lieu de travail, c'est pourquoi le respect des LEP est insuffisant.

## Références

1. Commission européenne (CE), *Commission Staff Working Document on an Action Plan for the EU Health Workforce*, SWD(2012) 93 final, Strasbourg, 18 avril 2012. Disponible à l'adresse: [http://ec.europa.eu/dgs/health\\_consumer/docs/swd\\_ap\\_eu\\_healthcare\\_workforce\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/health_consumer/docs/swd_ap_eu_healthcare_workforce_en.pdf)
2. Recommandation de la Commission du 18 octobre 2011 relative à la définition des nanomatériaux, JO L 275, p. 38–40. Disponible à l'adresse: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:FR:PDF>
3. Commission européenne (CE), *Commission Staff Working Paper: Types and Uses of Nanomaterials, Including Safety Aspects. Accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee on the Second Regulatory Review on Nanomaterials*, SWD(2012) 288 final, Bruxelles, 3 octobre 2012. Disponible à l'adresse: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
4. Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (EU-OSHA), *Workplace Exposure to Nanoparticles*, European Risk Observatory, literature review, 2009. Disponible à l'adresse: [http://osha.europa.eu/en/publications/literature\\_reviews/workplace\\_exposure\\_to\\_nanoparticles](http://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles)
5. Lauterwasser, C., *Small Size that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies*, rapport de l'Allianz Center for Technology et de l'OCDE, non daté. Disponible à l'adresse: <http://www.oecd.org/dataoecd/32/1/44108334.pdf>
6. Kale, S.N., *Nanomaterials and their Applications in Healthcare*, présentation au CIS-ONUDI, atelier de la SISSA sur la conception informatique et la découverte de médicaments potentiels pour les pays en développement, 2009.
7. Filipponi, L., Sutherland, D., *Medicine and Healthcare. Module 2—Applications of Nanotechnologies*, Interdisciplinary Nanoscience Centre (iNANO), 2010. Disponible à l'adresse: <http://nanoyou.eu/>
8. Ellis, J.R., *Nanomaterials and Their Potential in Therapy*, 2012. Disponible à l'adresse: <http://www.mddionline.com/blog/devicetalk/nanomaterials-and-their-potential-therapy> (date d'accès: 20 octobre 2012).
9. Nanowerk, *Introduction to Nanotechnology*, 2012. Disponible à l'adresse: [http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction\\_to\\_nanotechnology\\_1.php](http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction_to_nanotechnology_1.php) (date d'accès: 19 octobre 2012).
10. Mody, V.V., Siwale, R., Singh, A., Mody, H.R., «Introduction to metallic nanoparticles», *Journal of Pharmacy & BioAllied Science*, 2012, 2(4): pp. 282–289.
11. Jain, K., Kesharwani, P., Gupta, U., Jain, N.K., «Dendrimer toxicity: let's meet the challenge», *International Journal of Pharmaceutics*, 2010, 394(1–2): pp. 122–142.
12. Haase, A., Rott, S., Manton, A., Graf, P., Plendl, J., Thünemann, A.F., Meier, W.P., Taubert, A., Luch, A., Reiser, G., «Effects of silver nanoparticles on primary mixed neural cell cultures: uptake, oxidative stress and acute calcium responses», *Toxicological Sciences*, 2012, 126(2): pp. 457–468.
13. SafeWork Australia, *An Evaluation of MSDS and Labels Associated with the Use of Engineered Nanomaterials*. Disponible à l'adresse:

<sup>(6)</sup> Voir, par exemple, le Conseil économique et social des Pays-Bas (SER) (2012), *Provisional Nano Reference Values for Engineered Nanomaterials*, et Nanowerk (2012), *SAFENANO Team Complete BSI British Standards Guide to Safe Handling of Nanomaterials*.



<http://safeworkaustralia.gov.au/AboutSafeWorkAustralia/Whatwedo/Publications/Pages/RP201006EvaluationOfMSDSAndLabels.aspx>

14. Toyama T., Matsuda H., Ishida I., Tani M., Kitaba S., Sano S., Katayama I., «A case of toxic epidermal necrolysis-like dermatitis evolving from contact dermatitis of the hands associated with exposure to dendrimers», *Contact Dermatitis*, 2008, 59(2): pp. 122–123.
15. Murashov, V., «Occupational exposure to nanomedical applications», *WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 2009, 1: pp. 203–213.
16. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Approaches to Safe Nanotechnology—Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials*, Département de la santé et des services sociaux. Centers for Disease Control and Prevention, publication n° 2009–125, 2009.
17. Gratieri, T., Schaefer, U.F., Jing, L., Gao, M., Kostka, K.H., Lopez, R.F.V., Schneider, M., «Penetration of quantum dot particles through human skin», *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 2010, 6(5): pp. 586–595.
18. Projet ENRHES, Commission européenne (CE), *Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety (ENRHES)*, 2009. Disponible à l'adresse: <http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/whats-new/enhres-final-report>
19. Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux (CSRSEN), *Request for a Scientific Opinion on Nanosilver: Safety, Health and Environmental Effects and Role in Antimicrobial Resistance*, 2012. Disponible à l'adresse: [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenihr\\_q\\_027.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_q_027.pdf)
20. Luoma, S.N., *Silver Nanotechnologies and the Environment: Old Problems or New Challenges?*, The Pew Charitable Trust et le Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2008. Disponible à l'adresse: [http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano\\_pen\\_15\\_final.pdf](http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano_pen_15_final.pdf)
21. Organisation mondiale de la santé (OMS), *Carbon Black, Titanium Dioxide and Talc*, IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol. 93, 2010. Disponible à l'adresse: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol93/mono93.pdf>
22. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), «Occupational exposure to titanium dioxide», *Current Intelligence Bulletin* 63, 2011. Disponible à l'adresse: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-160/>
23. Sung, J.H., Ji, J.H., Park, J.D., Song, M.Y., Song, K.S., Ryu, H.R., Yoon, J.U., Jeon, K.S., Jeong, J., Han, B.S., Chung, Y.H., Chang, H.K., Lee, J.H., Kim, D.W., Kelman, B.J., Yu, I.J., «Subchronic inhalation toxicity of gold nanoparticles», *Particle and Fibre Toxicology*, 2011, 8: p. 16.
24. Directive du Conseil du 12 juin 1989 concernant la mise en œuvre de mesures visant à promouvoir l'amélioration de la sécurité et de la santé des travailleurs au travail (89/391/CEE), JO L 183, 29 juin 1989. Disponible à l'adresse: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1989L0391:20081211:FR:PDF>
25. Directive 98/24/CE du Conseil du 7 avril 1998 concernant la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés à des agents chimiques sur le lieu de travail (quatorzième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE). Disponible à l'adresse: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0024:20070628:FR:PDF>
26. Directive 2004/37/CE du Parlement européen et du Conseil concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail (sixième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE). Disponible à l'adresse: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R%2801%29:FR:HTML>
27. Schneider, T., Jansson, A., Jensen, K.A., Kristjansson, V., Luotamo, M., Nygren, O., Skaug, V., Thomassen, Y., Tossavainen, A., Tuomi, T., Wallin, H., «Evaluation and Control of

- Occupational Health Risks from Nanoparticles», *TemaNord* 2007: 581, Conseil nordique des ministres, Copenhague, 2007. Disponible à l'adresse:  
[http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at\\_download/publicationfile](http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at_download/publicationfile)
28. Borm, P., Houba, R., Linker, F., *Good Uses of Nanomaterials in the Netherlands*, 2008. Disponible à l'adresse: <http://www.nano4all.nl/Reporsshortsummary.pdf>
29. ACLI (Austrian Central Labour Inspectorate), *Umgang mit Nano im Betrieb (traduction libre: Utilisation de nanomatériaux sur le lieu de travail)*, 2009. Disponible à l'adresse:  
[http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano\\_Untersuchung.pdf](http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano_Untersuchung.pdf)
30. Règlement (CE) n° 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques, modifiant la directive 1999/45/CE et abrogeant le règlement (CEE) n° 793/93 du Conseil et le règlement (CE) n° 1488/94 de la Commission ainsi que la directive 76/769/CEE du Conseil et les directives 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE et 2000/21/CE de la Commission, JO L 396, 30 décembre 2006. Disponible à l'adresse:  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:396:0001:0849:FR:PDF>
31. Règlement (UE) n° 453/2010 de la Commission du 20 mai 2010 modifiant le règlement (CE) n° 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), JO L 133, 31 mai 2010. Disponible à l'adresse: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:133:0001:0043:FR:PDF>
32. Agence européenne des produits chimiques (ECHA), *Guide d'élaboration des fiches de données de sécurité*, décembre 2011. Disponible à l'adresse:  
[http://echa.europa.eu/documents/10162/13643/sds\\_fr.pdf](http://echa.europa.eu/documents/10162/13643/sds_fr.pdf)
33. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), *General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories*, Département de la santé et des services sociaux (NIOSH), publication n° 2012–147. Disponible à l'adresse:  
<http://www.cdc.gov/niosh/docs/2012-147/>
34. Directive 89/656/CEE du 30 novembre 1989 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé pour l'utilisation par les travailleurs au travail d'équipements de protection individuelle (troisième directive particulière au sens de l'article 16 paragraphe 1 de la directive 89/391/CEE). Disponible à l'adresse:  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1989:393:0018:0028:FR:PDF>
35. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, «Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche—Ein Betriebsleitfaden [traduction libre *Guide de l'utilisation sûre des nanomatériaux dans le secteur de la peinture*]», *Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech*, Band 11, 2009. Disponible à l'adresse:  
[www.hessen-nanotech.de](http://www.hessen-nanotech.de)
36. Golanski, L., Guillot, A., Tardif, F., *Are Conventional Protective Devices such as Fibrous Filter Media, Respirator Cartridges, Protective Clothing and Gloves also Efficient for Nanoaerosols?*, DR-325/326-200801-1, Nanosafe2, 2008. Disponible à l'adresse:  
[http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1\\_s.pdf](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1_s.pdf)
37. Klenke, M., *First Results for Safe Procedures for Handling Nanoparticles*, DR-331 200810-6, Nanosafe2, 2008. Disponible à l'adresse:  
[http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6\\_s.pdf](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6_s.pdf)
38. Dyrba, B., *Explosionsschutz: Handlungsbedarf bei Nanostäuben (traduction libre: Prévention des explosions: mesures nécessaires en présence de nanopoussières)*, non daté. Disponible à l'adresse:  
<http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/fachbeitraege/anzeigen/337/Explosionsschutz-Nanostaub/> (date d'accès: 3 décembre 2012).

39. Conseil économique et social des Pays-Bas (SER), *Provisional Nano Reference Values for Engineered Nanomaterials*, 2012. Disponible à l'adresse: [http://www.ser.nl/en/sitecore/content/Internet/en/Publications/Publications/2012/2012\\_01.aspx](http://www.ser.nl/en/sitecore/content/Internet/en/Publications/Publications/2012/2012_01.aspx) (date d'accès: 20 octobre 2012).
40. Nanowerk, *SAFENANO Team Complete BSI British Standards Guide to Safe Handling of Nanomaterials*, 2012. Disponible à l'adresse: <http://www.nanowerk.com/news/newsid=4136.php> (date d'accès: 20 octobre 2012)
41. Règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges (règlement CLP), JO L 353, 31 décembre 2008. Disponible à l'adresse: <http://echa.europa.eu/web/guest/regulations/clp/legislation>

## Lectures complémentaires

- Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (EU-OSHA), *Base de données des études de cas en ligne*, 2012. Disponible à l'adresse: [http://osha.europa.eu/fr/practical-solutions/case-studies/index\\_html/practical-solution?SearchableText=&is\\_search\\_expanded=True&getRemoteLanguage=fr&keywords%3Alist=nanotechnology&nace%3Adefault=&multilingual\\_thesaurus%3Adefault=&submit=Search](http://osha.europa.eu/fr/practical-solutions/case-studies/index_html/practical-solution?SearchableText=&is_search_expanded=True&getRemoteLanguage=fr&keywords%3Alist=nanotechnology&nace%3Adefault=&multilingual_thesaurus%3Adefault=&submit=Search) (date d'accès: 23 juillet 2012).
- Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IGBCE), *Nanomaterialien—Herausforderung für Arbeits- und Gesundheitsschutz (traduction libre: Nanomatériaux—un défi pour la sécurité et la santé au travail)*, Hauptvorstand, 2011. Disponible à l'adresse: [http://www.saarbruecken.igbce.de/portal/binary/com.epicentric.contentmanagement.servlet.ContentDeliveryServlet/site\\_www.igbce.de/static\\_files/PDF-Dokumente/Schwerpunktthemen/Nanotechnologie/d343dc332c78e5258ecea71035bf21ca.pdf](http://www.saarbruecken.igbce.de/portal/binary/com.epicentric.contentmanagement.servlet.ContentDeliveryServlet/site_www.igbce.de/static_files/PDF-Dokumente/Schwerpunktthemen/Nanotechnologie/d343dc332c78e5258ecea71035bf21ca.pdf)
- Commission européenne (CE), *Commission staff working document on an Action Plan for the EU Health Workforce Accompanying the document communication from the Commission to the European parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions "Towards a job-rich recovery"*, Strasbourg, 18 avril 2012 SWD(2012) 93 final.
- Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (EU-OSHA), *Safe Maintenance in Practice*, 2010. Disponible à l'adresse: <http://osha.europa.eu/en/publications/reports/safe-maintenance-TEWE10003ENC/view>
- Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (EU-OSHA), *Santé et sécurité du personnel des soins de santé*. Disponible à l'adresse: <http://osha.europa.eu/fr/sector/healthcare>.