

## NANOMATÉRIAUX DANS LE SECTEUR DE LA MAINTENANCE: 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, tant dans notre sphère privée que professionnelle. En d'autres termes, de plus en plus de travailleurs réalisant des travaux de maintenance pourraient être exposés aux nanomatériaux. Malgré un effort soutenu de recherches, le domaine de la nanotechnologie se développe plus rapidement que les connaissances sur les effets 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 les travailleurs peuvent être exposés aux nanomatériaux pendant les activités de maintenance qu'ils réalisent. Il fournit également des informations sur les mesures à prendre pour empêcher les expositions potentielles.

### 1 Introduction

#### 1.1 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 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.

Les propriétés spécifiques (originales) des nanomatériaux manufacturés présentent un grand nombre d'avantages pour de nombreuses applications. Les nanomatériaux manufacturés peuvent être utilisés seuls ou combinés à d'autres matériaux pour obtenir, par exemple:

1. une miniaturisation (du matériel électronique, par exemple);
2. une réduction du poids (en conséquence de l'efficacité accrue des matériaux); et
3. une amélioration des fonctionnalités des matériaux (par exemple, durabilité, conductivité, stabilité thermique, solubilité, réduction de la friction).

Les types de nanomatériaux manufacturés susceptibles d'être présents dans les lieux de travail dépendent des types de processus exécutés, des produits fabriqués et des matériaux utilisés comme matières premières ou comme adjuvants.

<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.»

## 1.2 Maintenance

Une maintenance régulière est essentielle pour préserver la sécurité et la fiabilité de l'équipement, des machines, des bâtiments et des structures (comme les ponts ou les tunnels), ainsi que de l'environnement de travail. Les travaux de maintenance impliquent des activités très variées dans des secteurs très différents et dans divers types d'environnements de travail. Ils comprennent généralement l'entretien, la réparation, l'inspection, le test, le réglage ou le remplacement de pièces et peuvent inclure, par exemple, l'ouverture de systèmes de production fermés, le remplacement de filtres, l'élimination de couches de peinture, le décapage à l'abrasif, le meulage, le sablage, l'application d'enduits de rebouchage, l'application de peintures, l'application de produits isolants, ainsi que la réparation d'un réseau électrique, d'une alimentation de gaz ou d'eau. Dans tous les secteurs et lieux de travail, des opérations de maintenance sont réalisées. Les ouvriers de maintenance sont donc plus exposés à divers dangers que les autres travailleurs.



Auteur: Dovile Cizaite

La maintenance peut être proactive (par exemple, pour éviter la défaillance de machines ou structures et des conditions dangereuses sur le lieu de travail) ou réactive (pour réparer des équipements ou des modules de construction). Les activités de maintenance peuvent dès lors faire partie du quotidien d'un travailleur, par exemple le nettoyage et la vérification d'un pistolet de projection à la fin d'une journée de travail, ou être exécutées de manière occasionnelle en cas de fonctionnement incorrect de l'équipement ou des machines. La maintenance pourrait être l'activité principale des ouvriers de la construction.

Vous trouverez des informations utiles sur la maintenance et la SST sur le site web de l'EU-OSHA à l'adresse <https://osha.europa.eu/fr/topics/maintenance>.

## 1.3 Nanomatériaux dans le secteur de la maintenance

Même si la nanotechnologie est un secteur industriel relativement nouveau, les nanomatériaux sont déjà utilisés pour leurs propriétés spécifiques dans de nombreuses applications. Par conséquent, il faut envisager l'exposition potentielle aux nanomatériaux pendant les activités de maintenance dans un nombre croissant de secteurs et de lieux de travail.

En effet, étant donné l'augmentation du nombre de produits manufacturés contenant des nanomatériaux, les travailleurs sont davantage susceptibles de devoir réaliser des travaux de maintenance sur ces produits et, ce faisant, d'être exposés à des nanomatériaux. Comme exemples de produits contenant des nanomatériaux, citons les voitures, les pneus à faible résistance au roulement, les équipements électriques et électroniques comme les composants électroniques et les capteurs à haut rendement, le matériel de production d'énergie, comme les systèmes de batterie rechargeable haute puissance ou les panneaux solaires intelligents à couche mince. Les bâtiments proprement dits peuvent également contenir des nanomatériaux.

En outre, il existe sur le marché de plus en plus de produits de maintenance contenant des nanomatériaux manufacturés, par exemple les lubrifiants, les revêtements ou les adhésifs. En l'absence de mesures de prévention adéquates, les travailleurs risquent d'être exposés à ces nanomatériaux.

Certaines applications de nanomatériaux manufacturés peuvent aussi apporter aux ouvriers de maintenance d'énormes avantages en termes de SST, par exemple, les peintures intelligentes utilisées pour détecter les fissures ou la corrosion sur les surfaces peintes. Les peintures intelligentes contiennent des nanotubes de carbone, conducteurs d'électricité. Étant donné que leur conductivité est affectée par la présence de défauts de ce type en surface, ces peintures peuvent être utilisées

pour la détection à distance de problèmes structurels microscopiques, par exemple dans les ponts ou les éoliennes, ce qui éviter aux ouvriers de travailler en hauteur pour contrôler ces structures.

## 2 Risques représentés par les nanomatériaux sur la SST des ouvriers de maintenance

Bien que les nanomatériaux présentent de nombreux avantages, certains peuvent se révéler dangereux pour la santé et la sécurité [2–4] et dès lors représenter un risque pour les ouvriers de maintenance.

### 2.1 Risques et voies d'exposition

Les risques pour la sécurité peuvent résulter des hautes valeurs d'explosivité, d'inflammabilité et de potentiel catalytique de certaines nanopoudres (nanomatériaux en poudre), surtout métalliques.

Les nanomatériaux peuvent présenter des effets toxiques potentiels très variés même si ce n'est pas le cas du même matériau à l'échelle macroscopique. Cela s'explique essentiellement par leur petite taille, mais dépend aussi de la forme des particules, de la nature chimique et de l'état de la surface (par ex. zone de surface, fonctionnalisation de surface, traitement de surface), de l'état d'agrégation/agglomération, etc. [3, 4].

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 [3, 4]. 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 [5]. 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 [6].

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 [3, 4].

Le tableau 1 présente des exemples de nanomatériaux auxquels les ouvriers de maintenance risquent d'être exposés ainsi que leurs risques pour la santé. Ces nanomatériaux sont particulièrement importants dans ce secteur, car ils sont utilisés dans les peintures, les désinfectants, les agents de nettoyage ou d'autres produits couramment utilisés pour les travaux de maintenance.

**Tableau 1: exemples de nanomatériaux auxquels les ouvriers de maintenance risquent d'être exposés et leurs risques potentiels sur la santé**

Type de nanomatériau	Risques pour la santé
Nanoparticules d'argent	<p>L'utilisation de nanoparticules d'argent représente un risque potentiel pour la santé humaine [8] et 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 [9].</p> <p>Il est à craindre que les nanoparticules d'argent puissent avoir des effets néfastes sur la santé, tels que des allergies [10], des œdèmes pulmonaires [11] et un argyrisme ou une 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), des affections qui sont irréversibles et incurables [12]. Il a également été documenté, dans le cadre de recherches sur des rats, que les nanoparticules d'argent peuvent atteindre le cerveau via les voies respiratoires supérieures [13]</p>
Nanoparticules de dioxyde de titane (TiO <sub>2</sub> )	<p>En cas d'inhalation, les particules de dioxyde de titane ont été classées par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) comme potentiellement cancérigènes pour l'homme (cancérigène du groupe 2B) [14]. 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> (&lt; 100 nm) contre 2,4 mg/m<sup>3</sup> pour les particules fines (&gt; 100 nm) [15]</p>
Nanoparticules de silice	<p>Les études disponibles sur la toxicité de la nanosilice sont basées sur les effets de la silice sur la santé après une exposition, aiguë ou subaiguë, par les voies respiratoires. Inflammation pulmonaire, formation de granulomes et emphysème focal font partie des effets signalés sur la santé [16]</p>

Il existe trois voies potentielles d'exposition aux nanomatériaux sur le lieu de travail [2, 3, 6, 17–19]:

- **L'inhalation** est la voie d'exposition la plus courante aux nanoparticules véhiculées par l'air sur le lieu de travail. 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 après 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 de nanomatériaux, puisque les particules inhalées évacuées des voies respiratoires par le système mucociliaire peuvent être avalées. Certains nanomatériaux ingérés peuvent franchir l'épithélium intestinal, entrer dans la circulation sanguine et atteindre d'autres organes et tissus.
- La pénétration **cutanéef** fait encore l'objet de recherches [2, 18]. Une peau intacte semble représenter une barrière efficace contre l'absorption de nanomatériaux [20]. Une peau abîmée paraît être moins efficace, mais le niveau d'absorption est certainement inférieur qu'en cas d'inhalation [20]. Quoi qu'il en soit, le contact cutané doit aussi être évité et surveillé.

Le potentiel d'exposition dépend donc essentiellement de la probabilité des nanomatériaux à être présents dans l'air, la forme en poudre ou en spray présentant un potentiel de risque supérieur à celui des suspensions dans les liquides, pâtes, matériaux granulaires ou composites. À leur tour, les

nanomatériaux dans les liquides présentent un potentiel de risque supérieur à celui des nanostructures liées ou fixes, comme celles présentes dans une matrice polymère [21].

## 2.2 Activités de maintenance avec risque d'exposition à des nanomatériaux

Les ouvriers de maintenance peuvent être exposés à des nanomatériaux manufacturés dans les situations suivantes:

- lorsqu'ils utilisent des produits de maintenance contenant des nanomatériaux;
- lorsqu'ils assurent la maintenance d'installations contenant des nanomatériaux, par exemple, une ligne de production dans laquelle sont utilisés ou traités des nanomatériaux ou des produits en contenant et lorsque ces nanomatériaux se sont, par exemple, déposés sur les surfaces de l'installation entretenue;
- lorsque le processus de maintenance proprement dit génère des nanomatériaux, par exemple le meulage ou le polissage.

Le tableau 2 présente des exemples de produits que les ouvriers de maintenance sont susceptibles d'utiliser, de manipuler ou de traiter et qui contiennent des nanomatériaux auxquels ils risquent d'être exposés dans l'exercice de leurs fonctions.

**Tableau 2: exemples de produits contenant des nanomatériaux utilisés à des fins de maintenance**

Principaux types de nanomatériaux	Exemples de produits utilisés à des fins de maintenance
Dioxyde de titane (TiO <sub>2</sub> )	Peintures, revêtements antibactériens, produits de nettoyage, ciments, tuiles, revêtements muraux, revêtements antisalissure pour fenêtres, revêtements pour voitures (tous ces produits exploitent les propriétés stérilisantes, désodorisantes, antibuée et autonettoyantes du TiO <sub>2</sub> à l'échelle nanométrique); ainsi que dans le verre pour ses propriétés de changement de couleur une fois exposé à la lumière [6, 22–24]
Silice (SiO <sub>2</sub> )	Peintures, béton et produits de nettoyage [6, 23]
Nanoparticules d'argent	Utilisées comme biocides dans les teintures/peintures et vernis, les polymères, les éviers et les céramiques sanitaires, ainsi que dans de nombreuses applications pour consommateurs comme les désinfectants et les agents de nettoyage [6]
Nanotubes de carbone	Peintures [23], constructions légères
Noir de carbone	Pigments
Carbures (par ex. WC, TiC, SiC), nitrides (par ex. TiN, CrN), métaux (par ex. W, Ti, Mo) ou céramiques (par ex. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Revêtements tribologiques appliqués à la surface d'un composant afin de contrôler sa friction et son usure [25]
Oxydes de fer	Additifs dans les adhésifs; formulations permettant un encollage et un décollement sur commande [25]
Dioxyde de zirconium	Additifs cimentaires, additifs plastiques
Oxydes de cuivre	Agents de protection du bois
Nanoparticules d'or	Automobiles et lubrifiants [26]

Parmi les activités de maintenance susceptibles d'exposer des ouvriers aux nanomatériaux, citons:

- **Utilisation de produits liquides contenant des nanomatériaux:**
  - La manipulation de produits liquides (par ex. lubrifiants, peintures, revêtements, adhésifs) ou le nettoyage de déversements accidentels sont susceptibles d'exposer une peau non protégée.
  - Dans certains cas, les activités de maintenance impliquent la préparation de produits liquides au cours de laquelle ces derniers sont déversés ou mélangés et donc fortement agités, ce qui crée des aérosols susceptibles d'être inhalés (puis partiellement ingérés) ou déposés sur une peau non protégée, entraînant une exposition cutanée;
  - La pulvérisation, par exemple d'une nanopeinture ou d'un nanorevêtement isolant, peut entraîner une inhalation, une ingestion ou une exposition cutanée.
  - La pulvérisation de nanomatériaux combustibles liquides augmente aussi le risque d'explosion ou d'incendie.
- **Utilisation de nanomatériaux en poudre:**
  - La manipulation (par ex. pesée, déversement ou mélange) de poudres contenant des nanomatériaux, afin de préparer des produits nécessaires à la maintenance, risque de générer des nanomatériaux qui se diffuseront dans l'air et entraîneront une exposition cutanée, une inhalation et une ingestion de nanomatériaux.
- **Utilisation de nanostructures liées ou fixes (matrice polymère):**
  - L'usinage, le sablage, le forage ou toute autre activité susceptible d'endommager la structure matricielle peut libérer des nanoparticules dans l'air, pouvant entraîner une pénétration cutanée, une inhalation ou une ingestion de nanoparticules. Les nanomatériaux contenus dans la matrice traitée ne sont pas nécessairement libérés sous la forme de particules primaires et peuvent se lier à d'autres particules de l'aérosol générées par le biais de ce processus. Il se peut toutefois que ces nanomatériaux liés se délient des particules aérosols après leur inhalation et se libèrent ainsi dans le corps.
- **Maintenance des équipements utilisés pour produire ou traiter des nanomatériaux ou des produits contenant des nanomatériaux:**
  - Possibilité de libération de nanomatériaux, dans certains cas accidentellement, avec risque potentiel d'exposition cutanée, d'inhalation et d'ingestion.
- **Nettoyage de systèmes de collecte de poussières utilisés pour capturer des nanomatériaux:**
  - Risque d'exposition des ouvriers à de fortes concentrations de nanomatériaux présents dans l'air ou déposés, pouvant entraîner une exposition cutanée, une inhalation et une ingestion.
- **Nettoyage d'éclaboussures de nanomatériaux:**
  - Risque d'exposition cutanée, d'inhalation et d'ingestion.
- **Transport et élimination de déchets contenant des nanomatériaux:**
  - Risque d'exposition cutanée, d'inhalation et d'ingestion.

En outre, la dispersion de nanopoudres dans l'air augmente le risque d'explosion ou d'incendie.

Le niveau d'exposition augmente si les activités de maintenance sont exécutées dans des espaces confinés, comme des citernes, sans mesures de contrôle adéquates.

### 3 Prévention

Conformément à la directive européenne 89/391/CEE [5], 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 [27] 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». 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 [28] doit être respectée. Quoi qu'il en soit, les dispositions de la législation nationale peuvent être plus strictes et doivent être consultées.

Les nanomatériaux étant considérés comme des substances, le règlement REACH (relatif à l'enregistrement, à l'évaluation et à l'autorisation des substances chimiques) [29] et le règlement CLP (relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges) [30] sont tout aussi pertinents.

### 3.1 Défis en matière de prévention des risques liés aux nanomatériaux dans le secteur de la maintenance

L'évaluation des risques liés aux nanomatériaux sur le lieu de travail peut, de manière générale, s'avérer difficile pour les raisons suivantes:

1. le manque de connaissances concernant les propriétés dangereuses des nanomatériaux;
2. les limites des méthodes et dispositifs disponibles pour l'identification des nanomatériaux et des sources d'émission, ainsi que pour la mesure des niveaux d'exposition;
3. le manque d'informations au sujet de la présence de nanomatériaux, en particulier dans des mélanges ou des articles, ainsi qu'en aval, dans la chaîne d'utilisateurs employant ou traitant des nanomatériaux ou des produits contenant des nanomatériaux.

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 [31–34]. Ceci est d'autant plus problématique en aval, dans la chaîne d'approvisionnement ou de sous-traitance. Ainsi, environ 75 % des travailleurs et employeurs du secteur de la construction ignorent que des nanoproduits sont présents sur leur lieu de travail [35]. Nous recommandons dès lors aux organisations de contacter les fournisseurs directement pour obtenir un complément d'informations. Plusieurs bases de données utiles identifiant les produits du commerce contenant des nanomatériaux sont également disponibles [36–38]. Par ailleurs, les modifications de l'annexe II du règlement REACH [39], le cadre légal pour les FDS, ainsi que du guide de l'agence européenne des produits chimiques (ECHA) sur les FDS [40], 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 actuel. Toutefois, d'autres défis spécifiques en termes de gestion des risques des nanomatériaux et de protection des travailleurs peuvent survenir dans le cadre des travaux de maintenance.

La sous-traitance de travaux de maintenance est très courante. Les sous-traitants travaillent fréquemment dans des installations qu'ils connaissent mal. S'ils n'ont pas été correctement informés, ils peuvent être exposés à des nanomatériaux sans le savoir. En raison d'un manque d'informations concernant les nanomatériaux susceptibles d'être présents dans des machines (par ex. dans les lignes de production employant ou traitant des nanomatériaux ou des produits contenant des nanomatériaux), du matériel (par ex. systèmes d'aspiration des gaz d'échappement) ou des bâtiments (par ex. surfaces peintes avec des peintures contenant des nanomatériaux) nécessitant des travaux de maintenance, il est difficile d'évaluer ou de prévenir les risques comme il se doit. Ce type de situations est principalement le résultat d'activités mal planifiées, d'un travail mal organisé et d'une mauvaise communication en amont et en aval de la chaîne de sous-traitance.

Un autre défi tient au fait que les situations de maintenance impliquent souvent des conditions de travail anormales et l'utilisation d'équipements. Les mesures de contrôle des risques sont parfois contournées en raison du travail de maintenance effectué, par exemple lors de l'ouverture d'un système fermé pour permettre aux ouvriers d'assurer la maintenance d'une machine produisant ou traitant des nanomatériaux ou lorsque le dispositif technique de contrôle des risques proprement dit doit faire l'objet d'une maintenance. Les directives disponibles pour la prévention des risques SST liés aux nanomatériaux couvrent généralement des conditions de fonctionnement normales, mais l'exposition des travailleurs à ces conditions «anormales» pendant la tâche de maintenance pourrait être très différente. À défaut de mesures de contrôle adéquates pendant la maintenance, non

seulement les ouvriers de maintenance sont mis en danger, mais les travailleurs de la société du client risquent de l'être aussi.

Les risques professionnels potentiels associés aux nanomatériaux doivent faire l'objet d'une identification, évaluation et communication adéquates avant de planifier ou d'effectuer une tâche de maintenance (sous-traitée) [41]. Il importe que les ouvriers de maintenance soient dûment informés de la présence de nanomatériaux, de leurs caractéristiques, des éventuels risques qui y sont associés et des mesures de prévention en vigueur concernant leur utilisation, manipulation ou traitement sur les lieux de travail où ils doivent assurer la maintenance ainsi que de tout autre danger présent sur le lieu de travail. Une formation ainsi que des instructions de travail adéquates à l'intention des travailleurs sont tout aussi essentielles.

## 3.2 Mesures de prévention

Le choix des mesures de prévention doit être basé sur l'évaluation des risques sur le lieu de travail et doit suivre la hiérarchie des mesures de contrôle, en accordant la priorité à l'élimination et la substitution, puis à des mesures techniques à la source, des mesures organisationnelles et enfin, en dernier recours, à l'équipement de protection individuelle. En cas de doute concernant les risques liés aux nanomatériaux, le principe de précaution est de mise concernant le choix des mesures visant à éviter toute exposition.

### 3.2.1 Élimination et substitution

Les possibilités d'éliminer ou de remplacer les nanomatériaux dangereux doivent être explorées avec la société pour laquelle les travaux de maintenance doivent être réalisés. Si la maintenance est effectuée sur des lieux de travail produisant ou utilisant des nanomatériaux en raison des avantages offerts par leurs nano-propriétés spécifiques ou si la maintenance doit être effectuée sur des structures bâties existantes contenant déjà des nanomatériaux, il se peut que l'élimination et la substitution ne soient pas envisageables. 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. Si les nanomatériaux dangereux sont contenus, par exemple, dans des produits utilisés pour le nettoyage ou la réparation, il convient d'envisager la possibilité d'alternatives moins dangereuses.

Dans tous les cas, toute forme de nanomatériaux susceptible d'être dispersée dans l'air (telle que des poudres) doit être remplacée par des formes solubilisées ou liquides, des granulés, des pâtes ou des nanomatériaux agglomérés en solides et l'utilisation de poudre doit être évitée autant que possible.

Il est aussi envisageable 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.

Des outils d'informations spécifiques disponibles sur le web, tels que Stoffenmanager [42] ou GISBAU [43] peuvent servir à identifier des options de substitution.

### 3.2.2 Contrôles techniques

Des mesures de prévention techniques doivent être implémentées à la source de l'émission des nanomatériaux. Le contrôle technique le plus efficace à la source est le confinement en employant des systèmes fermés et installations closes. Des systèmes appropriés de ventilation par aspiration locale avec un filtre HEPA (haute efficacité pour les particules aériennes) ou ULPA (filtres à air à pénétration ultra faible) sont également efficaces pour capturer les nanomatériaux à la source lorsque le confinement n'est pas envisageable.

Toutefois, dans certains cas, le travail de maintenance proprement dit peut justement consister à inspecter et réparer ces contrôles techniques et la fonction de prévention de ces contrôles techniques peut, par conséquent, avoir été désactivée. Par exemple, lorsqu'une cuve de production de nanomatériaux (en principe, un système fermé) est ouverte à des fins de maintenance et que le système d'aspiration est arrêté pour ce faire, l'ouvrier de maintenance doit porter son équipement de protection individuelle (voir section 4.4).

Les systèmes d'extraction de l'air local (mobiles) peuvent être particulièrement utiles pour protéger les travailleurs de toute exposition pendant la maintenance, par exemple lors de l'enlèvement des peintures, donnant lieu à la formation de particules. L'efficacité de captage des systèmes de ventilation par aspiration locale des nanomatériaux n'est pas inférieure à celle des matériaux

grossiers. En cas d'utilisation de dispositifs d'extraction d'air mobiles, les zones de respiration des travailleurs ne doivent pas se trouver dans la zone de circulation de l'air située entre la source potentielle d'émission des nanomatériaux et le système d'extraction.

Les systèmes de ventilation utilisés pour contrôler l'exposition aux nanomatériaux doivent disposer de filtres à plusieurs niveaux, les filtres HEPA (H14) ou ULPA étant utilisés comme filtre final. Des recherches menées concernant l'efficacité des matériaux de filtration des nanoparticules et aérosols ont démontré que, dans bien des cas, les filtres traditionnels constitués de fibres de verre et de filtres à électret sont efficaces pour les nanoparticules et les aérosols en général.

Dans les espaces confinés, l'air extrait doit être remplacé par de l'air frais.

### 3.2.3 Mesures organisationnelles

Les mesures organisationnelles jouent un rôle important dans la prévention. Compte tenu de la grande diversité des lieux et tâches de maintenance, des mesures de planification de processus et autres mesures organisationnelles sont primordiales. Parmi ces mesures, citons:

- la désignation de zones spécifiques pour effectuer les travaux de maintenance susceptibles de libérer des nanomatériaux (contenus dans les produits utilisés pour la maintenance ou les objets nécessitant une maintenance). Ces zones doivent être isolées ou séparées des autres lieux de travail, par exemple à l'aide de murs, et être clairement indiquées au moyen d'une signalisation appropriée;
- la réduction maximale du nombre de travailleurs potentiellement exposés ainsi que de la durée de l'exposition aux nanomatériaux;
- l'interdiction de l'accès à la zone par du personnel non autorisé durant la maintenance, par exemple, en plaçant une signalisation ou en délimitant la zone par un cordon de sécurité;
- le nettoyage régulier (à la serpillière humide) des zones de travail où des nanomatériaux sont utilisés ou manipulés;
- la surveillance des niveaux de concentration dans l'air, par exemple, par rapport aux niveaux de fond en l'absence de manipulation de nanomatériaux.

En l'absence d'approche standardisée en matière d'utilisation de signalisation de sécurité ou d'étiquetage des lieux de travail ou des conteneurs comportant 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) [30] et des signaux d'avertissement destinés à fournir des informations adéquates, pertinentes et spécifiques sur les risques de sécurité et de santé réels ou potentiels liés à l'utilisation et à la manipulation de nanomatériaux.

Les procédures de maintenance doivent suivre certains principes généraux, s'appliquant indépendamment de l'implication de nanomatériaux:

- La planification du travail de maintenance doit reposer sur l'évaluation des risques et se faire avec la participation des travailleurs. Si la maintenance est effectuée 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 en prévoyant suffisamment de temps pour implémenter et entreprendre les travaux de maintenance.
- Une formation suffisante doit être dispensée pour garantir que les ouvriers de maintenance disposent des compétences et des connaissances requises pour effectuer les tâches en toute sécurité et se protéger contre l'exposition à chaque libération de nanomatériau.
- Des instructions et informations relatives à la maintenance doivent toujours être communiquées à l'ensemble des ouvriers de maintenance, en particulier lorsque ceux-ci sont uniquement engagés pour cette tâche et/ou ne sont pas familiarisés avec les risques chimiques de manière générale et les risques liés aux nanomatériaux en particulier. 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.
- Lorsque les travaux de maintenance sont terminés, le lieu de travail doit être nettoyé et l'ensemble du processus de maintenance documenté.

Les travailleurs exposés à des nanomatériaux dangereux pendant les travaux de maintenance doivent être intégrés dans des programmes de surveillance de la santé avec une documentation détaillée des situations d'exposition.

### 3.2.4 Équipement de protection individuelle

L'équipement de protection individuelle (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 recommandations relatives à l'équipement de protection contre les nanomatériaux sont actuellement les mêmes que celles préconisées pour éviter l'exposition aux poussières et aérosols ou, selon le type d'exposition concernée, l'exposition cutanée [44]. Ces mesures de protection sont censées être tout aussi efficaces pour les 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 de 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 dès lors 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.

Il se peut que les ouvriers de maintenance doivent porter un EPI qui n'est habituellement pas nécessaire dans le cadre d'opérations normales sur le lieu de travail faisant l'objet de la maintenance. Par exemple, si une cuve de production contenant des peintures à base de nanomatériaux est ouverte, l'ouvrier doit porter un appareil respiratoire isolant (à afflux d'air externe) pour éviter d'inhaler des nanomatériaux. Dans le cadre d'un fonctionnement normal, la cuve reste fermée et aucun appareil de protection respiratoire n'est nécessaire.

#### ▪ Protection respiratoire

Si l'exposition aux nanomatériaux présents dans l'air ne peut pas être évitée au moyen des mesures de prévention mentionnées dans les sections 4.1 à 4.3, il est recommandé d'utiliser une protection respiratoire adaptée à ce type d'exposition. Il peut s'agir de demi-masques ou masques complets dotés de filtres P3/FFP3 ou P2/FFP2, de dispositifs de filtration des particules à soufflage d'air et casque (TH2P ou MH3P) ou de dispositifs de filtration des particules à soufflage d'air et demi-masques ou masques complets (TM2P et TM3P)<sup>(2)</sup> [45].

Les filtres HEPA, les cartouches de protection respiratoire et les masques dotés de matériaux de filtration fibreux sont considérés comme efficaces contre les nanomatériaux.

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);
- des conditions de travail.

<sup>(2)</sup> Selon des études, la pénétration des filtres P2 est de 0,2 % et des filtres P3 de 0,011 % de particules pour les nanoparticules de chlorure de potassium. Des tests réalisés avec différentes tailles de particules de graphite ont indiqué une pénétration de maximum 8 %. Cela indique une meilleure protection de la part des filtres P3, mais les résultats ne peuvent pas être généralisés à l'ensemble des nanoparticules (voir [45]).

L'efficacité de filtration des appareils respiratoires et des filtres est un facteur important pour évaluer l'EPI. D'autres facteurs tels que l'adaptation au visage, la durée d'utilisation et l'entretien correct de l'EPI peuvent également influencer l'atténuation de l'exposition. Concernant l'efficacité de filtration des demi-masques, si le joint du masque ne s'adapte pas parfaitement au visage, cela entraîne un important facteur de risque [44]. La réduction de l'exposition doit toujours être envisagée en tant que combinaison de l'efficacité du filtre et des caractéristiques d'utilisation de l'appareil respiratoire qui sont exprimés par les facteurs dits de protection des appareils respiratoires dans certains pays de l'UE.

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

#### ▪ **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. L'utilisation de vêtements de protection en coton doit être évitée [44].

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.

#### ▪ **Gants**

Les gants sont particulièrement importants pendant les travaux de maintenance étant donné que les travailleurs sont souvent en contact direct avec des nanomatériaux provenant des produits qu'ils utilisent ou des objets et matériaux dont ils assurent la maintenance. Comme pour les produits chimiques en général, l'efficacité des matériaux de protection est propre aux caractéristiques des nanomatériaux. Les recommandations des fournisseurs spécifiques aux nanomatériaux (par ex. les FDS) doivent être prises en compte. Le nitrile, le latex et le néoprène se sont avérés efficaces contre les particules de dioxyde de titane et de platine [44]. 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 [46].

Toutefois, cela ne préjuge en rien de l'efficacité des gants pour manipuler des liquides ou colloïdes. 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 expressément ce point auprès du fournisseur de gants.

### **3.3 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>(3)</sup> [47]. En conséquence, la vigilance est de mise lors de la génération ou de la manipulation de nanopoudres, notamment lors du meulage, du sablage ou du polissage de matériaux contenant des nanomatériaux.

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:

- La manipulation doit si possible être limitée à des zones ATEX spécifiques et se dérouler dans des atmosphères inertes.
- Les matériaux doivent être solubilisés en humidifiant le lieu de travail (afin d'éviter les poussières).

---

<sup>(3)</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. (voir [47]).

- 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.

### 3.4 Vérification de l'efficacité des mesures de prévention

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 d'inspecter régulièrement tous les équipements de ventilation et 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.

Des valeurs limites d'exposition professionnelle (LEP) pour les nanomatériaux <sup>(4)</sup> [48] 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. 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>
2. 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.
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, 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. [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. Directive du Conseil 89/391/CEE 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, JO L 183, 29.06.89. Disponible à l'adresse: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1989:183:0001:0008:FR:PDF>
6. Senjen, R., «Nanomaterials - Health and Environmental Concerns», *Nanotechnologies in the 21<sup>st</sup> century*, Bureau européen de l'environnement, Numéro 2, Juillet 2009. Disponible à

<sup>(4)</sup> Voir, par exemple, le Conseil économique et social des Pays-Bas (SER) [48], Provisional Nano Reference Values for Engineered Nanomaterials, 2012, et Nanowerk [42], SAFENANO Team Complete BSI British Standards Guide to Safe Handling of Nanomaterials, 2012.

l'adresse: <http://www.eeb.org/?LinkServID=540E4DA2-D449-3BEB-90855B4AE64E8CE6&showMeta=0>

7. 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).
8. Projet ENRHES, *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> (date d'accès: 29 avril 2013).
9. 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\\_g\\_027.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_g_027.pdf)
10. Bundesministerium für Gesundheit (BMG, Austrian Ministry of Health), *Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikeln und Lebensmittelkontaktmaterialien - Produkte, gesundheitliche und regulatorische Aspekte* (traduction libre: *Nanoparticules d'argent dans les cosmétiques, articles hygiéniques et produits en contact avec des denrées alimentaires, Aspects sanitaires et réglementaires*), Vienne, 2010. Disponible à l'adresse: [http://bmg.gv.at/cms/home/attachments/9/7/2/CH1180/CMS1288805248274/bmg\\_nanosilber\\_fassung\\_veroeffentlichung\\_final\\_mit\\_deckblaetter1.pdf](http://bmg.gv.at/cms/home/attachments/9/7/2/CH1180/CMS1288805248274/bmg_nanosilber_fassung_veroeffentlichung_final_mit_deckblaetter1.pdf)
11. 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>
12. 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)
13. 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.
14. 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>.
15. 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/>
16. Napierska, D., Thomassen, L.C.J., Lison, D., Martens, J.A., Hoet, P.H., «The nanosilica hazard: another variable entity», *Particle and Fibre Toxicology*, 2010, 7: p. 39.
17. 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>
18. Murashov, V., «Occupational exposure to nanomedical applications», *WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 2009, 1: pp. 203-213.
19. Hanson, N., Harris, J., Joseph, L.A., Ramakrishnan, K., Thompson, T., *EPA Needs to Manage Nanomaterial Risks More Effectively*, EPA (Agence américaine pour la protection de l'environnement, Rapport n°. 12-P-0162, 2011. Disponible à l'adresse: <http://www.epa.gov/oig/reports/2012/20121229-12-P-0162.pdf>
20. 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.
21. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories*, Département de la santé et des services sociaux, Numéro de publication 2012-147, 2012.

22. Elvin, G., *Nanotechnology for Green Building*, Green Technology Forum, 2007. Disponible à l'adresse: [http://esonn.fr/esonn2010/xlectures/mangematin/Nano\\_Green\\_Building55ex.pdf](http://esonn.fr/esonn2010/xlectures/mangematin/Nano_Green_Building55ex.pdf)
23. Responsible Nano Forum, *Nano Products - Where and How Nanotechnologies are Used Now*, non daté. Disponible à l'adresse: <http://www.nanoandme.org/nano-products/> (date d'accès: 19 octobre 2012).
24. United States Government Accountability Office Nanotechnology (GAO), *Improved Performance Information Needed for Environmental, Health, and Safety Research* (2012). Disponible à l'adresse: <http://www.gao.gov/assets/600/591007.pdf> (date d'accès: 19 octobre 2012).
25. Observatory NANO, *Coatings, Adhesives and Sealants for the Transport Industry*, 2010. Disponible à l'adresse: [http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/NOB\\_coating\\_adhesives\\_sealants\\_transport\\_final.pdf](http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/NOB_coating_adhesives_sealants_transport_final.pdf) (date d'accès: 19 octobre 2012).
26. 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.
27. 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). JO L 131, 5 mai 1998. Disponible à l'adresse: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0024:20070628:FR:PDF>
28. 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), JO L 158, 30 avril 2004. Disponible à l'adresse: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:229:0023:0034:FR:PDF>
29. 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>
30. 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>
31. 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)
32. Borm, P., Houba, R., Linker, F., *Good Uses of Nanomaterials in the Netherlands*, présenté et distribué à Nano4All, 15 octobre 2008.
33. Austrian Central Labour Inspectorate (ACLI), *Umgang mit Nano im Betrieb (traduction libre: Utilisation de nanomatériaux sur le lieu de travail)*, 2009. [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)
34. SafeWork Australia, *An Evaluation of MSDS and Labels associated with the use of Engineered Nanomaterials*, 2010. Disponible à l'adresse: <http://safeworkaustralia.gov.au/AboutSafeWorkAustralia/Whatwedo/Publications/Pages/RP201006EvaluationOfMSDSAndLabels.aspx>.
35. van Broekhuizen, F.A., van Broekhuizen, J.C., *Les nanoproduits dans le secteur européen de la construction — État des connaissances en 2009 - Rapport de synthèse*, Fédération

- européenne des travailleurs du bâtiment et du bois (FETBB), Fédération européenne de l'industrie de la construction (FIEC), Amsterdam, 2009. Disponible à l'adresse: <http://www.efbww.org/pdfs/Nano%20-%20FR%20Summary%20ok.pdf>
36. Bureau européen des unions de consommateurs (ANEC/BEUC), *Inventory of Products Claiming to Contain Nano-silver Particles Available on the EU Market*, 2012. Disponible à l'adresse: <http://www.beuc.org/beucnoframe/Common/GetFile.asp?PortalSource=2530&DocID=24222&mfd=off&pdoc=1> (date d'accès: 19 octobre 2012).
37. U.S. National Library of Medicine, Consumer Product Information Database, *The Household Products Database*, 2011. Disponible à l'adresse: <http://hpd.nlm.nih.gov/about.htm> (date d'accès: 19 octobre 2012).
38. 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, 2012. Disponible à l'adresse: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
39. 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.
40. 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)
41. Nunes, I.L., 'The nexus between OSH and subcontracting', *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 2012, 41, supplément 1: pp. 3062-3068.
42. Ministère néerlandais des Affaires sociales et de l'emploi, *Stoffenmanager 4.5*, non daté. Disponible à l'adresse: <https://www.stoffenmanager.nl/> (en néerlandais, anglais et finnois) (date d'accès: 3 décembre 2012).
43. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU), *Gefahrstoff-Informationssystem der BG BAU - GISBAU* [traduction libre: Système d'informations sur les substances dangereuses du BG-BAU]. Disponible à l'adresse: <http://www.gisbau.de/index.html> (date d'accès 3 décembre 2012).
44. 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)
45. 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)
46. 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)
47. 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).
48. Institut de technologie OAWITA, *Assessment of the Austrian Academy of Science*, 2010. Disponible à l'adresse: <http://epub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier016en.pdf> (date d'accès: 10 juin 2011).

## 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/en/practical-solutions/case-studies/index\\_html/practical-solution?SearchableText=&is\\_search\\_expanded=True&getRemoteLanguage=en&keywords%3Alist=nanotechnology&nace%3Adefault=&multilingual\\_thesaurus%3Adefault=&submit=Search](http://osha.europa.eu/en/practical-solutions/case-studies/index_html/practical-solution?SearchableText=&is_search_expanded=True&getRemoteLanguage=en&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. <http://www.igbce.de/download/15044-15052/2/nanomaterialien.pdf>
- 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), Magazine 12. – Healthy Workplaces. A European Campaign on Safe Maintenance, 2011. Disponible à l'adresse: <http://osha.europa.eu/en/publications/magazine/12/view>
- Agence européenne pour la santé et la sécurité au travail (EU-OSHA), Une maintenance sûre - Pour les employeurs - Des travailleurs en sécurité - Économisez de l'argent, Facts 89, 2011. Disponible à l'adresse: <https://osha.europa.eu/fr/publications/factsheets/89>
- Health and Safety Executive (HSE), Risk Management of Carbon Nanotubes, Crown, 2009. Disponible à l'adresse: [www.hse.gov.uk/pubns/web38.pdf](http://www.hse.gov.uk/pubns/web38.pdf) (accessible).