

IVAM UvA BV

NANOTECHNOLOGIES DANS LE SECTEUR DE L'AMEUBLEMENT

état des lieux 2012, résumé

Fleur van Broekhuizen
30-5-2012



IVAM UvA BV

NANOTECHNOLOGIES DANS LE SECTEUR DE L'AMEUBLEMENT

état des lieux 2012, résumé

Fleur van Broekhuizen

30-5-2012

COLOPHON

TITRE

Nanotechnologies dans le secteur de l'ameublement – état des lieux 2012 – résumé

AUTEURS

F. A. van Broekhuizen (IVAM UvA BV, NL)

COMITÉ DE PILOTAGE

R. Gehring (FETBB), C. Ravazzolo (EFIC), M. Eirup (EFIC), B. de Turck (UEA), R. Rodriguez (UEA), U. Spannow (BAT, DK), J. Waage (FNV Bouw, NL) et J. Moratalla (AIDIMA, ES)

CE RAPPORT A ÉTÉ COMMANDÉ PAR

la FETBB (Fédération européenne des travailleurs du bâtiment et du bois),
l'EFIC (Confédération de l'industrie européenne du meuble)
et l'UEA (Union Européenne de l'Ameublement) dans le cadre du Dialogue social européen.



REMERCIEMENTS

Cette étude a reçue l'aide financière de la Commission européenne et de la Direction générale de l'Emploi grâce à la convention de subvention N°. VS/2011/0134 – S12-596685 dans le cadre du Dialogue social européen de l'industrie de l'ameublement.

Les auteurs remercient les entreprises (sociétés d'ameublement, producteurs de matières premières, fabricants de produits), les organisations professionnelles, les instituts de recherche et de développement et les particuliers rencontrés pour leur aide si précieuse lors de l'élaboration de cette étude, les informations fournies et la transparence dont ils ont fait preuve durant nos discussions.

POUR DE PLUS AMPLES INFORMATIONS concernant ce rapport,
merci de contacter :

IVAM UvA BV
Amsterdam – Pays-Bas
Tél : +31 20 525 5080
www.ivam.uva.nl
E-mail : office@ivam.uva.nl

Maquette et mise en page: Beryl Natalie Janssen/Cologne

Des passages de ce rapport peuvent être utilisés à condition de mentionner la source en bonne et due forme.
IVAM UvA BV ne pourra être tenue responsable de tout préjudice ou dommage subi du fait de l'utilisation ou de la mise en pratique des conclusions de ce rapport.

TABLE DES MATIÈRES

4	INTRODUCTION
5	MARCHÉS ET PERSPECTIVES
5	Potentiels de marché
8	Facteurs limitatifs pour l'utilisation des nanomatériaux dans l'ameublement
8	Coûts versus avantages
8	Performances à long terme
8	Inquiétudes en matière de santé et de sécurité
9	FACTEURS LIÉS À LA SANTÉ ET LA SÉCURITÉ
9	Introduction
9	Effets négatifs des nanomatériaux sur la santé
9	Effets négatifs du nano-TiO ₂
10	Effets négatifs du nano-SiO ₂
10	Effets négatifs du nano-Ag
10	Niveaux d'exposition professionnelle
12	Méthodes d'exposition
12	Exposition par inhalation et facteurs typiquement liés à la santé
13	Exposition par la peau
13	Exposition par ingestion
13	Exposition de l'utilisateur final
14	ORGANISER UN LIEU DE TRAVAIL SÛR
14	Scénarios d'exposition sur les lieux de travail de l'industrie de l'ameublement
17	Communication des risques transparente et traçabilité
19	Campagnes en matière de réglementation des nanomatériaux et des nanoproduits
20	REMARQUES DE CONCLUSION

INTRODUCTION

DANS LE CADRE DU DIALOGUE SOCIAL EUROPÉEN, la FETBB (Fédération européenne des travailleurs du bâtiment et du bois), l'EFIC (Confédération de l'industrie européenne du meuble) et l'UEA (Union Européenne de l'Ameublement) ont pris l'initiative de demander à l'IVAM UvA BV de réaliser une étude sur le niveau des connaissances des acteurs du secteur et sur les nano-produits actuellement présents sur le marché. Ce document récapitule les résultats évoqués plus en détails dans le rapport intitulé « Nanotechnologies dans le secteur de l'ameublement – état des lieux 2012 ». Les questions centrales sont les suivantes :

- Quels types de nanomatériaux entrent actuellement dans la fabrication de produits d'ameublement ?
- Dans un avenir proche, quelles sont les perspectives en matière d'utilisation de nanomatériaux dans la fabrication de meubles ?
- Quels problèmes de santé et de sécurité peuvent se poser pour les travailleurs sur le lieu de travail ?
- Quelles seraient les caractéristiques d'un lieu de travail sûr en vertu du principe de précaution ?

Le terme « nano » évoque un ordre de grandeur. Nanotechnologie fait simplement référence à la capacité à observer, surveiller et influencer les matériaux (et leur comportement) au nanomètre (nm) près, un nanomètre étant 10 000 fois plus petit que l'épaisseur d'un cheveu humain. Des techniques d'imagerie avancées sont nécessaires à l'étude et à l'amélioration du comportement d'un

matériau mais aussi à la conception et la fabrication de poudres, liquides ou solides très fins contenant des particules d'une taille comprise entre 1 et 100 nm, appelées nanoparticules. Un nanomatériau (NMM) est un matériau composé d'au moins 50 % de nanoparticules¹. Les entreprises utilisent ces nanomatériaux pour donner à leurs produits de nouvelles propriétés ou pour les améliorer (nanoproduits). L'industrie de l'ameublement n'est pas un grand utilisateur de nanomatériaux mais utilise des nanoproduits dont des laques hautement résistantes aux éraflures, des revêtements antibactériens, autonettoyants ou faciles à nettoyer et du béton ultra-résistant utilisé dans les cuisines et le mobilier urbain.

Dans un même temps, il existe de sérieuses inquiétudes concernant de possibles problèmes de santé et de sécurité des NMM. Les NMM pourraient être plus dangereux pour l'homme que leurs équivalents traditionnels à micro-échelle car :

- ils sont si petits qu'ils peuvent plus facilement pénétrer dans le corps humain (par exemple via le système nerveux nasal, les poumons ou la peau) ;
- ils sont si petits que leurs poudres pourraient se comporter comme des gaz ;
- ils pourraient provoquer des réactions de toxicité spécifique à cause de leur forme et de leur large surface spécifique ;
- ils pourraient présenter différentes propriétés chimiques et physiques, telle que la conductivité électrique.

Les mécanismes de toxicité des NMM commencent tout juste à être compris. Dans un même temps, les mécanismes précisément en action peuvent varier d'un NMM à l'autre et de nombreuses inconnues demeurent. Toutefois, on peut s'attendre à ce que le profil de toxicité soit au moins partiellement lié au comportement unique qui les rend intéressant pour l'innovation de produits en premier lieu. Des effets néfastes typiquement observés vont de l'inflammation au développement de cellules cancéreuses dans les tissus atteints en passant par des maladies cardiovasculaires, la mort cellulaire, la formation de tissus cicatriciels (par exemple dans les poumons) et des dysfonctionnements dans les embryons. Toutefois, les effets néfastes observés dépendent fortement de la dose et de la durée d'exposition, ainsi que de sa forme. Par exemple, des découvertes préliminaires font bien allusion au fait que les NMM peuvent être fortement toxiques sous forme pure, mais cette toxicité ne se révèle pas nécessairement lorsque l'exposition se déroule quand les NMM sont encastés dans une matrice.

Ce résumé évoque le degré d'utilisation des nanomatériaux dans l'ameublement en 2012, les évolutions dans un avenir proche, les questions de santé et de sécurité et les meilleures pratiques afin d'organiser un lieu de travail sûr dans l'industrie européenne de l'ameublement.

¹ Une définition a été adoptée par la Commission européenne le 18 octobre 2011. Pour de plus amples informations, consultez la page suivante : <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/11/704&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

MARCHÉS ET PERSPECTIVES

LA NANOTECHNOLOGIE peut avoir des répercussions énormes sur l'avenir de l'ameublement et la diversité de ses applications, sur la qualité et les fonctionnalités, mais aussi sur les performances environnementales, professionnelles et de santé publique. Toutefois, si l'on observe le marché de 2012, l'utilisation de nanomatériaux manufacturés (NMM) dans les produits d'ameublement se trouve toujours à un stade précoce de développement. La première expérience sur le terrain laisse penser que les principaux domaines d'application dans le revêtement, sont les nano-revêtements, qui représentent une taille de marché probablement inférieure à 1 % par rapport à tous les autres revêtements « non-nanos ». Le marché des NMM dans l'ameublement se caractérise par un manque de traçabilité, une ignorance de la disponibilité ou de l'utilisation, des secrets entourant les activités de R&D et une réticence des fabricants de meubles à se présenter en tant qu'utilisateurs de NMM, suite au débat social mondial sur les questions de santé et de sécurité et les incertitudes à ce sujet.

POTENTIELS DE MARCHÉ

Au début de ce millénaire, les NMM étaient désignés comme l'innovation la plus importante qui influencerait l'avenir de la R&D dans l'ameublement. Des attentes élevées ont été suscitées, mais à ce jour, très peu d'activités de R&D se sont transformés en réussites sur le marché. Suite à la crise économique mondiale, les investissements en R&D ont diminué au cours des dernières années et de nouveaux développements ont été ralentis.

Un domaine dans lequel l'utilisation des NMM dans les produits a été une

réussite est celui de l'amélioration de la qualité des meubles afin de diminuer les besoins de service et d'entretien. Les hôpitaux et bureaux (résidentiels) sont des endroits potentiels où ces produits peuvent apporter une haute valeur ajoutée.

Le nano-SiO₂ ou verre liquide, est un des NMM les plus souvent mentionnés dans ce contexte. Le verre liquide est utilisé dans les revêtements faciles à nettoyer, étanches à l'eau, à l'huile et anti-graffitis. Le verre liquide est également utilisé dans les laques hautement résistantes aux éraflures ou dans les revêtements pour protéger le métal, le bois ou la pierre contre l'érosion et les processus d'usure.

Il peut protéger le bois contre la croissance des algues et les attaques d'autres organismes comme les vers à bois ou les termites. En outre, le nano-SiO₂ est utilisé pour obtenir du béton à ultra haute résistance et densité qui convient parfaitement dans le mobilier de cuisine et urbain. Des contacts directs avec les fabricants de meubles et leurs fournisseurs laissent penser que le marché pour ces applications augmente de façon graduelle.

Les NMM sont également un succès dans le domaine des revêtements bactéricides ou autonettoyants. Le nano-argent et le nano-TiO₂ sont les deux NMM les plus utilisés pour cette fonction. Ces deux NMM coûtent relativement chers et sont appliqués dans les traitements de surface des

meubles des centres médicaux et autres endroits où les infections doivent être empêchées, notamment dans le secteur alimentaire, les piscines ou saunas, ou même dans les transports publics.

Un dernier domaine d'introduction des NMM est celui de la prévention de la décoloration et dégradation UV des matériaux. Les nano-argiles sont des NMM utilisés pour stabiliser les pigments. Les nano-TiO₂, nano-ZnO et nano-CeO sont des NMM utilisés en tant qu'agent bloquant les rayons UV, par exemple dans les revêtements de protection du bois.

De nombreuses applications matérielles supplémentaires ont été décrites dans la littérature ou sont disponibles sur le marché, par exemple le verre intelligent, le textile et les adhésifs nano-cellulosiques. Se référer aussi au rapport complet « Nanotechnologies dans le secteur de l'ameublement – état des lieux 2012 » pour un aperçu détaillé des différents nanomatériaux mis à la disposition de l'industrie de l'ameublement. En 2012, ces applications semblent toujours plus ou moins inexploitées. Dans un avenir proche, les NMM pourront jouer un rôle dans le développement des performances des meubles et la conception d'une industrie de l'ameublement plus durable.

Les NMM pourraient faciliter :

- la production de matériaux plus légers, forts et durables ;



Tissu en nylon traité avec un produit étanche à l'eau, revêtement facile à nettoyer à base de verre liquide.

TABLEAU 1 Aperçu des groupes de produits utilisant des nanomatériaux mis à la disposition de l'industrie de l'ameublement en 2012		
GROUPE DE PRODUITS	DESCRIPTION	UTILISATION RELATIVE DANS L'AMEUBLEMENT ²
Verre	Au fil des années, la nanotechnologie a permis de développer et de fabriquer différents types de verre, à savoir du verre antireflets, du verre unidirectionnel, du verre isolant thermique (basé sur la réflexion ou l'absorption de la lumière infrarouge) et du verre biocide. De nombreuses applications pourraient les utiliser. Pensez par exemple aux vitrines, notamment dans les musées, aux lampes, aux tables, au mobilier de bureau ou au mobilier médical. Toutefois, selon les grands acteurs du marché, leur pénétration sur le marché de l'ameublement est faible.	Faible – indétectable
Matériau composite	Dans la recherche et le développement, de nombreuses activités sont organisées autour des nanocomposites, à la fois de plastique et de bois. Pour ce qui est des composites de bois, les applications potentielles pourraient utiliser des nanofibres de bois afin d'optimiser leur résistance et leurs performances. Toutefois, les premiers contacts avec l'industrie des composites suggèrent que cette application n'a pas encore été mise sur le marché. En voici quelques exemples : <ul style="list-style-type: none"> • nouveaux retardateurs de flamme • nanocellulose utilisée comme fibre de renforcement • nanosilice pour l'amélioration de la résistance. 	Faible – indétectable
Bois	Dans la sylviculture (la phase de production de bois), la nanotechnologie permet d'optimiser des systèmes biocides de préservation du bois et de produire du bois de manière plus durable. Avant l'utilisation du bois dans un produit, la nanotechnologie peut être utilisée pour étudier de manière plus approfondie les performances du bois et ainsi de maximiser son potentiel. Lors de la phase d'utilisation du bois, de nouvelles techniques sont actuellement développées afin de modifier sa surface et ainsi améliorer sa durabilité en termes de fonctionnalité et de résistance aux UV.	Faible – indétectable
Métal	Les améliorations apportées aux métaux grâce à la nanotechnologie consistent à modifier la structure même des métaux ou leur surface. La galvanoplastie est l'un des exemples de technique ayant recours à des nanomatériaux. La trempe de l'acier en est un autre.	Faible – indétectable
Textile	Plusieurs applications potentielles des nanomatériaux dans les textiles sont décrites et intégrées à divers produits. Toutefois, dans le secteur de l'ameublement, seuls les textiles anti-tâches, faciles à nettoyer et bactéricides sont réellement utilisés. Les textiles ultra-absorbants fabriqués à partir de nanocellulose constituent une quatrième application qui fait son apparition sur le marché.	Faible mais en augmentation
Béton	Le béton est principalement utilisé dans les espaces publics. Les fumées de silice (nanosilice) utilisées dans la fabrication de béton ultra hautes performances (BUHP) et le nano-TiO ₂ utilisé pour donner au béton une surface « autonettoyante » constituent deux applications possibles pouvant représenter une valeur ajoutée pour le secteur. Prima-Marina d'Escofet® est l'un des exemples de gamme de bancs et de tables d'extérieur utilisant du BUHP, un matériau aussi connu sous le nom de pierre liquide. Les nanotubes de carbone sont des NMM actuellement étudiés pour leur capacité à améliorer la résistance des composites de béton et leur utilisation semble proche.	Moyenne et en augmentation
Colle	Les colles à base de nanomatériaux utilisées dans l'ameublement sont fabriquées à partir de silice ou de composés de silane qui agissent comme des agents de liaison croisée dans la structure polymérique de la colle ou comme stabilisateurs des colles à base d'eau dans le but d'affiner la viscosité du produit. La dispersion de l'additif Dermocoll® de Bayer, une dispersion silice-polyuréthane, en est un exemple. On note aussi un autre type d'évolution dans le domaine du dépolissage des surfaces. Une surface nano-rugueuse améliore les propriétés adhésives et réduit la quantité de colle nécessaire.	Faible – indétectable
Revêtement ; hydrophobe ou oléophobe	Des propriétés hydrophobes ou oléophobes peuvent être obtenues grâce à diverses nanotechniques. Elles peuvent être utilisées sur des textiles, du bois ou des métaux afin de réduire l'érosion et l'usure et de protéger contre les tâches, les traces de doigts etc. Toutefois, elles peuvent aussi être intégrées à des composites de bois pour empêcher qu'il ne gonfle sous l'effet de l'eau. La technologie du verre liquide consiste par exemple à appliquer un revêtement oléophobe poreux qui permet tout de même au matériau situé en-dessous de respirer.	Relativement élevée et en augmentation

² Du fait du caractère innovant et de la pénétration limitée du marché des NMM utilisés dans l'ameublement, il a été impossible de déterminer quantitativement leur utilisation dans les différents groupes de produits. La présence et les perspectives de NMM dans les produits d'ameublement sont donc indiquées de manière relative. « Élevé » doit être interprété comme *relativement élevé par rapport à l'ensemble des groupes de produits intégrant des NMM observés et présents sur le marché*. « Faible » doit être interprété comme *indétectable* même si on peut imaginer qu'ils sont utilisés sans que cela ne soit mentionné. « Restreint » signifie *restreint mais observé*.

Revêtement ; résistance aux éraflures	Les peintures ou les laques hautement résistantes aux éraflures constituent l'avenir de ce marché. Elles peuvent être utilisées sur des objets en bois tels que des tables, des chaises, des portes ou des planchers mais aussi, en ameublement, sur d'autres matériaux « souples » particulièrement répandus tels que du plastique ou du contreplaqué. Cette caractéristique typique existe dans différents types de revêtements qui peuvent être aqueux ou non.	Relativement élevée et en augmentation
Revêtement ; anti-graffitis	Les revêtements anti-graffitis sont évoqués du fait de leurs applications extérieures, notamment en matière de mobilier urbain. Toutefois, ils peuvent aussi être utilisés sur les meubles pour enfants ou dans les cuisines afin d'allier à la fois les fonctionnalités d'un meuble et celles d'un tableau blanc.	Moyenne et en augmentation
Revêtements ; facile à nettoyer	Les propriétés anti-salissures figurent parmi les applications dans lesquelles les nanomatériaux sont utilisés afin d'améliorer les surfaces des matériaux d'ameublement. Cette technique est souvent basée sur le principe de la « feuille de lotus ». La feuille de lotus est composée de minuscules poils qui réduisent la surface de tension et empêchent l'absorption de l'huile et de l'eau. De ce fait, les « salissures » sont éliminées en toute simplicité. Lorsque ce principe est appliqué à un matériau d'ameublement, sa surface devient « facile à nettoyer ». Cela implique par exemple que les activités de nettoyage nécessitent moins de détergents et cela s'applique aussi à des vêtements.	Relativement élevée et en augmentation
Revêtement ; protection anti-UV	Le mobilier d'extérieur est en permanence exposé à toutes sortes de conditions météorologiques, y compris les rayons UV qui accélèrent la dégradation des matériaux et des revêtements. L'une des solutions est l'adjonction d'agents qui absorbent les rayons UV. La capacité des nano-additifs à favoriser cette absorption, notamment pour les surfaces en bois, a été étudiée. Les additifs qui absorbent les rayons UV sont aussi utilisés pour allonger la durée de vie et améliorer la résistance de la couleur des peintures ou des revêtements qui se dégradent du fait de l'exposition aux rayons UV.	Faible mais en augmentation
Revêtement ; autonettoyant	Les revêtements autonettoyants agissent de manière active sur les matériaux organiques (polluants et organismes). Cette fonctionnalité peut être intéressante pour les meubles de cuisine sur lesquels se déposent en permanence de fines couches d'huile de cuisine et autres contaminants alimentaires (protéines, glucides). Cette possibilité peut aussi être intéressante dans des lieux tels que des hôpitaux, des saunas, des piscines etc. même si cela ne remplacera jamais un nettoyage normal.	Faible, en augmentation dans certains secteurs
Revêtement ; bactéricide	Les revêtements bactéricides tuent les bactéries et autres micro-organismes tels que les algues ou les champignons qui tentent d'y survivre. Cette fonctionnalité peut être essentielle pour le mobilier des grands espaces publics tels que le métro, le train, les bureaux, les garderies, les hôpitaux ou la bio-industrie puisque ce revêtement peut permettre de réduire les risques de transmission d'une infection d'une personne ou d'un animal à un autre et, de ce fait, empêcherait les épidémies.	Faible, en augmentation dans certains secteurs

TABLEAU 2 Nanomatériaux dominant les nanoproduits utilisés dans l'industrie de l'ameublement en 2012

Apport au produit →	Résistance aux éraflures	Facile à nettoyer	Anti-graffitis	Stabilité Lumière/UV	Propriétés autonettoyantes	Bactéricide
Nanomatériau						
SiO ₂	X	X	X			
TiO ₂ /ZnO				X	X	X
CeO ₂				X		
Ag						X
CuO						X

- l'introduction de nouvelles fonctionnalités matérielles ;
- le remplacement de retardateurs de flamme dangereux par des systèmes novateurs à base de NMM ;
- l'utilisation de techniques d'encollage novatrices et la formulation d'adhésifs à base de NMM ;

- la conception de meubles intelligents, comme les meubles de cuisine qui savent que vous n'avez plus de pâtes, ou d'une chaise qui change de couleur en fonction des désirs du client.

Le tableau 1 offre un aperçu des différents groupes de produits

disponibles qui entrent dans la fabrication de meubles.

En 2012, les nanomatériaux utilisés dans les différents groupes de produits d'ameublement sont dominés par le nano-SiO₂, le nano-TiO₂ et le nano-Ag. Le Tableau 2 évoque les 6 nanomatériaux les plus fréquemment



Surface polie d'un panneau MDF avec une couche supérieure en bambou, traitée avec une laque hautement résistante aux éraflures à base de nano SiO₂.

utilisés dans les différents nano-produits de l'ameublement et offre un tour d'horizon des principales caractéristiques conférées aux produits. Ces nanomatériaux pourraient, en principe, être utilisés dans presque tous les produits de base. Par exemple, seule une modification relativement restreinte du nanomatériau sera nécessaire pour transformer un revêtement à base de solvant en revêtement aqueux ou pour transformer un revêtement destiné au bois en revêtement destiné au métal. En outre, transformer un revêtement hydrophobe en revêtement facile à nettoyer n'est qu'une question de concentration.

Des exemples de nanomatériaux ou de nanoproduits figurent dans diverses bases de données de produits commercialisés contenant des nanomatériaux. Ces bases de données sont principalement destinées aux consommateurs (par exemple Woodrow Wilson Institute³, Nanowerk⁴, Nanodaten⁵, Bund⁶ et Nanodatabasen⁷). Aucune n'évoque spécifiquement les matériaux ou produits de l'industrie de l'ameublement. Il semble qu'un certain nombre d'obstacles doivent encore être surmontés avant que le marché ne puisse utiliser ces NMM à grande échelle.

FACTEURS LIMITATIFS POUR L'UTILISATION DES NANOMATÉRIAUX DANS L'AMEUBLEMENT

Même si le potentiel des NMM dans l'ameublement peut sembler prometteur, une introduction à grande échelle des nanomatériaux dans les produits d'ameublement est freinée

par un certain nombre d'obstacles. Les facteurs les plus importants limitant actuellement leur application sont résumés ci-dessous.

COÛTS VERSUS AVANTAGES

La plupart des NMM sont des substances relativement nouvelles. Leur volume de production annuel est toujours bas et leur coût par conséquent élevé. Dès lors, les NMM sont souvent considérés comme trop onéreux pour servir de produits de substitution aux alternatives existantes. Toutefois, cette situation évolue lorsque les volumes de production augmentent progressivement. Le Nano-TiO₂ est un exemple de NMM qui vient de devenir rentable en tant que bloqueur de rayons UV dans les revêtements.

PERFORMANCES À LONG TERME

En raison de leur nouveauté, de nombreux NMM doivent toujours prouver leur durabilité sur le long terme. Des procédés de fabrication conventionnels pourraient nécessiter une adaptation et les fabrications et les consommateurs doivent croire en leurs propriétés pour que les fabricants investissent dans cette nouvelle technique. Dès lors, les NMM sont principalement utilisés dans les revêtements. Toutefois, l'expérience et la confiance croissantes aidant, les NMM se retrouveront certainement dans des matériaux plus complexes et exigeants. Les fibres nano-cellulosiques sont un exemple de NMM qui pourraient être utilisés dans un avenir proche pour renforcer les revêtements et les matériaux composites.

INQUIÉTUDES EN MATIÈRE DE SANTÉ ET DE SÉCURITÉ

Peu de données sont disponibles sur les aspects de santé et de sécurité des NMM individuels. Cependant, il existe suffisamment de raisons pour suspecter davantage d'effets néfastes critiques comparés aux matériaux plus rugueux en raison de la petite taille et de la réactivité nano-spécifique des NMM. Les incertitudes en matière d'aspects de santé et de sécurité des NMM limitent le recours aux NMM par les fabricants de meubles lors du processus de production. Ces incertitudes entraînent des inquiétudes pour la santé et la sécurité de leurs travailleurs, leurs consommateurs et l'environnement. Il y a également des inquiétudes à propos des risques d'exposition aux NMM et des mesures de contrôle appropriées lors de l'application, de l'utilisation et lors de la fin de vie. Il est dès lors essentiel de communiquer les informations sur l'application et l'utilisation en toute sécurité des NMM à toute la chaîne de valeur du produit d'ameublement : du producteur de matières premières à (aux) utilisateur(s) final(aux) du produit en passant par le fabricant de meubles. Des informations solides et fiables du fournisseur permettent à l'employeur fabricant de meubles de remplir ses obligations pour protéger ses travailleurs des risques associés aux NMM. Lorsque des informations concernant les applications et l'utilisation circuleront entre les acteurs de la chaîne de valeur de l'industrie de l'ameublement, celle-ci sera en mesure d'utiliser des NMM en toute sécurité et de bénéficier de tout leur potentiel.

³ <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>

⁴ www.nanowerk.com

⁵ www.nanodaten.de

⁶ <http://bund.net/nanodatenbank>

⁷ www.nano.taenk.dk

FACTEURS LIÉS À LA SANTÉ ET LA SÉCURITÉ

INTRODUCTION

Les nanomatériaux peuvent être plus dangereux pour l'homme que leurs équivalents microscopiques parce que :

- ils pénètrent plus facilement dans les tissus humaines ;
- leurs poudres pourraient se comporter comme des gaz, ce qui influence leur migration et le profil d'exposition ;
- ils pourraient être transportés via le système nerveux, traverser le placenta ou pénétrer sous la peau ;
- leur forme pourrait engendrer des réponses spécifiques à des éléments toxiques comme une inflammation ou un stress oxydatif ;
- ils pourraient disposer d'un ratio surface/volume (ou surface/masse) supérieur ce qui entraînerait une augmentation de leur réactivité chimique ;
- ils pourraient avoir des propriétés chimiques différentes, notamment en termes d'activité catalytique ;
- ils pourraient avoir des propriétés chimiques différentes, notamment en termes de conductivité électrique ou de solubilité accrue.

Même si les connaissances actuelles sont encore insuffisantes pour déterminer la toxicité en fonction de la composition et de la morphologie des nanomatériaux, il est envisageable que le profil de toxicité soit au moins partiellement lié au comportement chimique et physique unique qui les rend en premier lieu si intéressants en termes d'innovation. Toutefois, quelle que soit leur dangerosité intrinsèque, l'élément fondamental de tout risque sanitaire posé par les nanomatériaux ou les nanoproduits est la probabilité d'une exposition. Si l'exposition fait l'objet d'une prévention efficace, alors ils ne présenteront pas de risque sanitaire.

EFFETS NÉGATIFS DES NANOMATÉRIAUX SUR LA SANTÉ

Il n'existe aucun « *effet des nanomatériaux sur la santé* » global. Chaque nanomatériau possèdera ses propres effets négatifs sur la santé. Parmi les NMM dominant les nanoproduits actuellement utilisés dans l'ameublement, seule la toxicité du nano-TiO₂ est relativement connue. Au contraire, celle du nano-SiO₂ et du nano-Ag (nano-argent), les deux autres NMM les plus fréquemment rencontrés, est bien moins connue et, pour tous les autres NMM, les données dans ce domaine sont rares, voire inexistantes.

Du fait des nombreuses zones d'ombre entourant les effets négatifs des nanomatériaux sur la santé, il est logique de recueillir les données connues et de rechercher des tendances communes. Les effets des nanomatériaux sur la santé les plus fréquemment rencontrés sont l'inflammation et le stress oxydatif. À une dose suffisante, l'inflammation et le stress oxydatif peuvent conduire à la mort cellulaire ou la formation de tissus cicatriciels, par exemple dans les poumons. Un développement cellulaire anormal, une dégradation de l'ADN et des troubles hormonaux sont d'autres effets possibles. Une étude approfondie des connaissances relatives aux questions de santé et de sécurité engendrées par les nanomatériaux a été réalisée par Aschberger et al. (2011)⁸. Ces effets généraux sur la santé peuvent éventuellement se manifester sous la forme d'une inflammation des voies respiratoires, d'une bronchite, d'asthme, de maladies cardiovasculaires ou de malformations chez les enfants. La sensibilisation de la peau

exposée est aussi évoquée comme un possible effet négatif, par exemple dans le cas des NMM biocides réactifs de surface tels que le nano-TiO₂, le nano-Ag ou le nano-SiO₂ (voir ci-dessous). Les données actuellement disponibles sont insuffisantes pour confirmer les effets sensibilisateurs des NMM.

EFFETS NÉGATIFS DU NANO-TiO₂

En 2011, le NIOSH (l'institut national américain de la santé et de la sécurité au travail) a analysé toutes les données scientifiques existantes en matière d'effets du nano-TiO₂ sur la santé et la sécurité. Le NIOSH⁹ a conclu que les preuves étaient suffisantes pour qualifier le nano-TiO₂ de substance potentiellement cancérigène sur le lieu de travail. Toutefois, il est encore plus intéressant de noter qu'il a conclu que l'effet cancérigène du nano-TiO₂ était induit par un mécanisme secondaire, ce qui signifie que cet effet n'est pas « spécifique au produit chimique » mais « spécifique aux particules » puisqu'étant lié au fait que le nano-TiO₂ n'est pas soluble et est microscopique. En conséquence, on peut s'attendre à un effet similaire pour tous les autres NMM non-solubles. Le NIOSH a de plus conclu que l'application d'une fine couche de revêtement autour de chaque particule de nano-TiO₂ semble accroître son potentiel cancérigène et que cette morphologie (amorphe ou cristalline) ne semble pas avoir de répercussions significatives en termes de carcinogénéicité.

⁸ Aschberger A, Micheletti C, Sokull-Kluttgen B et Christensen FM (2011) Analysis of currently available data for characterizing the risks of engineered nanomaterials to the environment and human health – Lessons learned from four case studies, *Environment International*, 37, 1143 – 1156

⁹ Occupational Exposure to Titanium Dioxide, NIOSH, Current Intelligence Bulletin 63, Avril 2011

EFFETS NÉGATIFS DU NANO-SiO₂

Par rapport au nano-TiO₂, le profil de toxicité du second nanomatériau, le nano-SiO₂, est bien moins connu. Il peut être fabriqué sous une forme amorphe ou cristalline et se présenter dans différentes formes et morphologies. Selon sa structure exacte, sa réactivité physique et chimique diffère, tout comme son profil de toxicité. Napiersky et al. (2010)¹⁰ ont analysé les différentes formes et modes de synthèse et traité des connaissances disponibles en matière de mécanismes de toxicité sur le lieu de travail. Ils ont conclu que la toxicité du nano-SiO₂ semblait dépendre en grande partie de sa structure cristalline. Le nano-SiO₂ cristallin cause un stress oxydatif et donc une dégradation de l'ADN et des membranes. En revanche, la forme du nano-SiO₂ la plus fréquemment utilisée dans l'industrie pour améliorer les performances d'un produit, est la forme amorphe. Son utilisation dans les laques résistantes aux éraflures en est un exemple. La toxicité du nano-SiO₂ amorphe est considérée comme inférieure à celle du nano-SiO₂ cristallin et, de ce fait, seules quelques rares études ont analysé son profil exact. Les rares travaux existants suggèrent que le nano-SiO₂ n'est pas impliqué dans la fibrose progressive des poumons mais qu'il est susceptible de provoquer une inflammation pulmonaire à fortes doses. Il faut toutefois peut-être nuancer ces conclusions selon la conception exacte du nano-SiO₂ amorphe. De plus en plus d'études publiées soulignent l'interaction forte entre le nano-SiO₂ et des peptides, l'influence certaine de la surface de contact sur sa réactivité et l'influence de la modification de la surface sur sa toxicité. L'interaction avec les peptides peut par exemple suggérer l'existence d'un potentiel allergique (similaire aux produits à base d'époxy) et différentes études montrent d'autant plus des toxicités différentes selon les tests.

Toutefois, Napiersky et al. (2010) et les références présentes ici suggèrent que

les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs provoqués par des nanoproduits apparaissent principalement lors de la fabrication et de la manipulation des poudres de nanomatériaux de base. Que ce soit en suspension ou sous forme solide, le nano-SiO₂ est fixé et l'exposition par inhalation peut être qualifiée de très faible.

EFFETS NÉGATIFS DU NANO-AG

La toxicité de l'argent a fait l'objet d'un grand nombre d'études par le passé. Elles montrent qu'il est relativement non-toxique pour l'homme mais peut être extrêmement dangereux pour les organismes présents dans l'environnement. Contrairement à cet argent microscopique, le profil de toxicité du nano-Ag a été largement moins étudié. Dans les deux cas, la toxicité est déterminée par l'émission d'ions argent (Ag⁺). Toutefois, dans le cas du nano-Ag, les nanoparticules peuvent elles-mêmes avoir une toxicité supérieure puisque, lors de l'exposition, leur diffusion dans le corps humain (ou dans l'environnement) peut différer de celle des particules d'argent plus grosses. Par exemple, lors d'études de toxicité environnementale, il a été observé que le nano-Ag agissait sur les micro-organismes comme une bombe d'Ag⁺. Les données existantes concernant le profil de toxicité du nano-Ag sont évoquées dans une étude réalisée récemment par TNO (2011)¹¹.

Toutefois, malgré l'absence actuelle de profil de toxicité complet du nano-Ag, des signes montrent clairement que la prudence doit être le maître-mot lors de l'application de nano-Ag sur des produits d'ameublement. Le nano-Ag est principalement utilisé dans les traitements des blessures particulièrement graves, des infections bactériennes ou en tant que désinfectant des souches bactériennes qui sont très tenaces et/ou résistent aux autres antibiotiques. Une mauvaise utilisation peut cependant favoriser une résistance bactérienne à l'argent (voir TNO 2011 et références

présentes ici) et lorsque cela est le cas, cela peut avoir des conséquences graves pour la santé.

NIVEAUX D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

Pour évaluer la sécurité sur le lieu de travail, des niveaux d'exposition professionnelle (NEP) sont souvent utilisés. Actuellement, les connaissances scientifiques sont trop limitées pour proposer des NEP évitant les risques sanitaires pour la majorité des nanomatériaux. Des niveaux d'exposition professionnelle (NEP), des limites d'exposition recommandées (LER) ou des doses dérivées sans effet (DNEL) évitant les risques sanitaires ne sont proposés par les entreprises qu'à l'égard d'un nombre restreint de nanomatériaux qu'elles produisent ou par les instituts de recherche. Le Tableau 3 résume plusieurs de ces valeurs.

En attendant la détermination de valeurs fiables en matière de risque pour la santé, des valeurs provisoires peuvent être utilisées comme valeurs de référence pragmatiques. Différents projets ont étudié la possibilité d'élaborer une méthode de détermination de valeurs de référence génériques pour les NMM, notamment l'institut allemand IFA (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung) et l'institut britannique BSI (British Standard Institute). Aux Pays-Bas, les organisations syndicales et patronales ont ensemble convenu d'utiliser des références en matière d'exposition professionnelle qu'on appelle les valeurs de référence nano (NRV). En mai 2012, une liste des NRV a été publiée par le Conseil économique néerlandais SER¹² sous la forme d'une recommandation officielle émanant du Ministère néerlandais de l'Emploi et des Affaires sociales, comme indiqué dans le Tableau 4.

Ces NRV doivent être utilisées comme des valeurs de référence pragmatiques. Elles ne garantissent pas qu'une exposition à des doses

¹⁰ Napiersky D, Thomassen LCJ, Lison D, Martens JA et Hoet PH (2010) The Nanosilica Hazard: another variable entity, *Particle and Fibre Toxicology*, 7, 39

¹¹ Van Manen – Vernooij B, le Feber M, van Broekhuizen FA, van Broekhuizen P (2011) Pilot « Kennisdelen Nano in de verketen », TNO Report V20123 | 1

¹² SER Advies 12/01, Mars 2012, Voorlopige nanoreferentiewaarden voor synthetische nanomaterialen, Annex 1

TABLEAU 3 Propositions de NEP, LER et DNEL pour les nanoparticules en question

SUBSTANCE		NEP ou LER mg/m ³	DNEL mg/m ³	Référence
MWCNT (Baytubes) *	TWA 8h**	0,05		Pauluhn, 2010
MWCNT (Nanocyl)	TWA 8h	0,0025		Nanocyl 2009
CNT (SWCNT et MWCNT) *	TWA 8h	0,007		NIOSH 2010
Fullerène		0,8		NEDO-2 2009
Ag (18-19 nm)	DNEL		0,098	Stone et al 2009
TiO ₂ (10 -100 nm) (LER) **	10h / jour, 40h / semaine	0,3		NIOSH 2011

* CNT= nanotube de carbone ; SWCNT= nanotube monoparoï ; MWCNT= nanotube multiparoï

** REL = limites d'exposition recommandées ; TWA = concentration moyenne pondérée dans le temps

TABLEAU 4 Liste des valeurs de référence nano (NRV) néerlandaises telles que stipulées par le SER en mars 2012

CLASSE	DESCRIPTION	DENSITÉ (kg/m ³)	NRV (TWA 8h)	EXEMPLES
1	Nanotubes, nanofibres et nanotiges rigides et biopersistants dont des effets similaires à l'amiante ne sont pas exclus	-	0,01 fibres/cm ³ (= 10 000 fibres/m ³)	SWCNT, MWCNT ou fibres d'oxyde de métaux dont des effets similaires à l'amiante ne sont pas exclus par le fabricant.
2	Nanomatériaux granulaires biopersistants allant de 1 à 100 nm	> 6 000	20 000 particules/cm ³	Ag, Au, CeO ₂ , CoO, Fe, Fe _x O _y , La, Pb, Sb ₂ O ₅ , SnO ₂
3	Nanomatériaux granulaires biopersistants allant de 1 à 100 nm	< 6 000	40 000 particules/cm ³	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , TiN, TiO ₂ , ZnO, nano-argile Noir de charbon, C ₆₀ , dendrimères, polystyrène Nanotubes, nanofibres et nanotiges dont des effets similaires à l'amiante sont explicitement exclus
4	Nanomatériaux granulaires non-biopersistants allant de 1 à 100 nm	-	NEP applicable	Par exemple graisses, siloxanes, sel (NaCl)

inférieures soit sans danger. Elles peuvent être utilisées tant que l'UE ou les États membres n'ont pas déterminé des nano-NEP évitant les risques sanitaires ou tant que des niveaux d'exposition professionnelle recommandés évitant les risques sanitaires (NEP-ERS) ou des doses dérivées sans effet (DNEL) tels qu'évoqués dans la documentation REACH n'existent pas. La collaboration entre les partenaires sociaux néerlandais qui a donné naissance à la liste des NRV et sa qualification officielle de valeurs recommandées par le SER rend cette approche totalement unique. Le système de mesure défini (nombre de nanoparticules par cm³) est lui-aussi unique. Il exprime le fait que la réactivité des nanomatériaux est liée à

leur surface de contact et non à leur masse. L'utilisation de cette liste à l'échelle européenne est encouragée par la Confédération européenne des syndicats (CES) et l'opportunité de son utilisation à l'échelle de l'Union européenne est actuellement étudiée.

Toutefois, lorsqu'il est utilisé dans un produit, un nanomatériau n'est pas forcément une particule «inchangeable». Dans de nombreux produits, le nanomatériau réagira avec ou se liera à la matrice du produit. En voici quelques exemples : la nanosilice dans les laques résistantes aux éraflures, le nano-argent dans les textiles de grande qualité ou le nanomatériau utilisé dans la galvanoplastie. Dans d'autres produits, le nanomatériau sera plus

profondément intégré à la matrice du produit comme le nano-dioxyde de titane dans les revêtements autonettoyants. L'évolution d'un nanomatériau dans un produit joue un rôle dans ses effets néfastes pour la santé et la probabilité d'une exposition. Il est donc essentiel de se rendre compte que sa toxicité peut varier pendant sa durée de vie : de potentiellement dangereux sous la forme de matière première à produit de consommation inoffensif lors de son utilisation à déchet toxique en fin de vie ou lorsqu'il est mis en décharge. La question de ce devenir est donc primordiale dans le débat qui entoure la question des dangers des nanomatériaux pour la santé et la sécurité :

Qu'advient-il d'un nanomatériau une fois qu'il est appliqué ? et Qu'advient-il d'une fonctionnalité spécifique à une nanoparticule ?

MÉTHODES D'EXPOSITION

Dans l'industrie de l'ameublement, les travailleurs seront exposés (presque tous sans exception) à des nanoproduits (que ce soit dans la forme où ils ont été achetés ou sous les formes où ils sont développés du fait de leur utilisation ou de leur traitement) et non à des nanomatériaux purs, ce qui signifie qu'ils sont principalement exposés à :

des produits auxquels sont intégrées des nanoparticules (ou des nanoproduits) (dans une matrice solide, dans une poudre, dans un liquide ou dans une pâte) et de la poussière ou des aérosols produits lors de leur fabrication, pulvérisés ou, de quelque manière que ce soit, appliqués sur le lieu de travail.

Cela a un impact sur l'exposition réelle des travailleurs au nanomatériau contenu dans le produit. Les travaux de Saber et al. (2011a¹³,b¹⁴), montrent qu'il peut exister une différence significative entre l'exposition à des nanomatériaux purs et celle à des nanomatériaux contenus dans un revêtement. Ils ont étudié différents revêtements (revêtements en acrylique et laques anti-UV) imprégnés de différents nanomatériaux (nano-TiO₂, nano-SiO₂, nano-argile et noir de charbon) et ont découvert que les nanomatériaux purs avaient des effets inflammatoires et provoquaient une dégradation de l'ADN spécifiques aux nanoparticules alors que, une fois intégrés au revêtement ou à la laque, la toxicité de la poussière de ponçage de ces nanoproduits était similaire à celle de ces mêmes produits sans nanomatériaux. En d'autres termes, les travaux scientifiques préliminaires montrent que les nanomatériaux intégrés à une matrice ne présentent pas forcément le même profil de

toxicité spécifique que sous leur forme pure. Ce premier résultat est très prometteur et d'une importance capitale pour l'évaluation des risques liés à la manipulation de nanomatériaux et de nanoproduits dans l'industrie de l'ameublement et cela encourage la réalisation de nouvelles études afin de déterminer si un effet similaire est observé avec d'autres matériaux et produits.

Généraliser la manière dont un NMM peut entrer dans la composition d'un nanoproduit s'articule autour de trois points :

1. un NMM peut être chimiquement inerte mais peut être en mesure d'interagir physiquement. Cela crée une matrice à laquelle le NMM est intégré mais qui ne réagit pas chimiquement avec la matrice du produit. De cette manière, le nanomatériau reste « libre » et pourrait en principe être libéré.
2. un NMM peut être réactif d'un point de vue chimique. Cela entraîne une liaison chimique entre le NMM et la matrice, ce qui rend peu probable la libération du nanomatériau.
3. Un NMM peut être réactif d'un point de vue chimique et physique et se lier chimiquement à la surface de la matrice. De cette manière, il est peu probable que ce nanomatériau soit libéré mais l'exposition peut survenir lors d'un contact direct avec la surface. Les surfaces bactéricides en sont un exemple.

Les trois parties suivantes évoquent les trois manières dont les travailleurs de l'industrie de l'ameublement peuvent être exposés à des nanomatériaux lors de la manipulation des produits qu'ils utilisent. Du fait de la nature même de leurs activités quotidiennes et des produits qu'ils utilisent en règle générale, une exposition par inhalation de poussière de nanomatériaux (découpe, ponçage, perçage, sciage ou usinage) ou par des aérosols de peinture ou la pulvérisation de colle est susceptible de prédominer. La pénétration par la peau peut aussi jouer un rôle (bien que

cela soit plus limité), notamment en cas de contact avec des substances réactives telles que les bactéricides, et des problèmes sanitaires sur le lieu de travail sont à prévoir. L'exposition par ingestion doit aussi être envisagée. Les nanomatériaux éliminés des poumons ou de la zone nasale peuvent être ingérés avec le mucus et la possibilité, par exemple, d'ingérer de la poussière ou de la peinture contenant des nanomatériaux au déjeuner ou au café si les mains et le visage ne sont pas bien nettoyés, existe.

Lors du transport de parties de meubles solides telles que la céramique, le verre, le fer, le plastique, des composites, des matériaux d'isolation, du béton, du bois contenant des nanoparticules ou des surfaces traitées avec des revêtements renforcés, une exposition à des nanoparticules serait très faible puisque, dans ces cas, les nanomatériaux seraient intégrés à la matrice solide. En cas d'incertitude, il est cependant recommandé d'éviter tout contact avec la peau dans ces situations grâce à des gants.

EXPOSITION PAR INHALATION ET FACTEURS TYPIQUEMENT LIÉS À LA SANTÉ

L'exposition à des nanomatériaux par inhalation peut survenir lorsque des particules en suspension sont produites sur le lieu de travail, soit parce que les processus créent de la poussière ou des aérosols ou parce que des poudres contenant des nanomatériaux sont manipulées. Dans l'industrie de l'ameublement, les nanomatériaux sont généralement présents sur le lieu de travail puisque faisant partie intégrante (ingrédient) d'un nanoproduit tel qu'un revêtement ou un textile traité. La manipulation de nanomatériaux de base n'a pas été étudiée dans le cadre de ce projet spécifique. L'adjonction d'agents de matage à base de nanosilice à des revêtements ou des laques et certains pigments (en suspension) a été constatée dans l'industrie.

¹³ Saber AT, Jensen KA, Jacobsen NR, Birkedal R, Mikkelsen L, Moller P, Loft S, Wallin H et Vogel U (2011a) Inflammatory and genotoxic effects of nanoparticles designed for inclusion in paints and lacquers, *Nanotoxicology, Early Online*, 1 – 9

¹⁴ Saber AT, Koponen IK, Jensen KA, Jacobsen NR, Mikkelsen L, Moller P, Loft S, Vogel U et Wallin H (2011b) Inflammatory and genotoxic effects of sanding dust generated from nanoparticle-containing paints and lacquers, *Nanotoxicology, Early Online*, 1 – 13

Diverses études ont montré que des nanoparticules pouvaient pénétrer dans les tissus pulmonaires et se mêler au sang. Elles peuvent aussi atteindre le cerveau par le biais du système nerveux nasal. Une fois à destination, elles peuvent franchir la barrière hémato-encéphalique ou être transportées par le système nerveux. Ces deux mécanismes pourraient jouer un rôle majeur dans le développement de certaines maladies affectant le cœur ou le système nerveux central.

Les nanomatériaux tubulaires constituent un groupe à surveiller attentivement. Il y a plusieurs années, des nanotubes en carbone ont attiré l'attention du monde entier parce qu'ils étaient suspectés de provoquer un mésothéliome (cancer d'une partie précise du poumon et du péritoine). De nouvelles études dans ce domaine ont toutefois révélé que la toxicité des nanotubes de carbone (et autres) dépendait largement de sa forme exacte et de sa fonctionnalité. Un vaste tour d'horizon des connaissances actuelles dans ce domaine a été élaboré par Zhao et Liu (2012)¹⁵. En application du principe de précaution, il est néanmoins recommandé d'éviter toute exposition à des nanotubes, nanotiges ou nanofibres, sauf si des effets similaires à ceux de l'amiante sont explicitement exclus par leurs fabricants.

Les nanomatériaux en forme de tube (ou de tige) nécessitent une attention toute particulière en termes d'évaluation des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs, des consommateurs et de l'environnement. Jusqu'à maintenant, l'utilisation de nanotubes de carbone n'a pas été observée dans l'industrie de l'ameublement. Toutefois, étant donné leurs propriétés électriques uniques et leur capacité à agir comme fibre de renforcement, matériau ignifuge alternatif ou matériau de lutte contre la croissance des algues, une utilisation pourrait être envisagée à l'avenir.

EXPOSITION PAR LA PEAU

La peau est traditionnellement considérée comme une barrière efficace contre les particules. Toutefois, si elle est compromise (abimée ou affaiblie) ou soumise à des tensions (notamment au niveau des articulations), des nanoparticules peuvent pénétrer dans l'organisme, tout comme au niveau des follicules pileux et des pores. Une fois qu'elles ont franchi la barrière cutanée, il apparaît clairement que le tissu cutané sous-jacent et le sang sont leurs deux premières cibles. Grâce au sang, elles peuvent être facilement transportées vers les autres organes. La peau elle-même peut, en tant qu'organe, être visée. Jusqu'à présent, le développement d'une sensibilisation de la peau après une exposition à des NMM n'a pas fait l'objet de grandes études. Du fait des fonctionnalités de certains NMM, conçus par exemple pour s'attaquer à des matières organiques ou pour agir comme biocide, l'éventualité d'une sensibilisation ne peut tout simplement pas être exclue sans de plus amples recherches. La réaction du nano-SiO₂ avec des peptides laisse penser à une possible sensibilisation qu'il faudrait encore étudier. La peau, comme mode d'exposition, nécessite donc une attention toute particulière dans l'industrie de l'ameublement, par exemple si le travail implique la production de poussière contenant des nanomatériaux ou si des résidus de poussière contenant des nanomatériaux restent sur le lieu de travail.

EXPOSITION PAR INGESTION

L'ingestion n'implique pas que des nanomatériaux soient directement avalés (par la bouche) mais peut aussi concerner des nanoparticules inhalées puis transportées vers le système pulmonaire par le mucus avant d'être avalées (ce qu'on appelle une ingestion secondaire). Des nanoparticules peuvent alors être absorbées par l'intestin puis pénétrer le flux sanguin comme le font généralement les nutriments.

EXPOSITION DE L'UTILISATEUR FINAL

Même si l'utilisateur final d'un meuble ne participe pas à sa transformation (fabrication), l'exposition aux nanomatériaux doit être envisagée, surtout du fait d'un contact prolongé (de la peau) avec la couche supérieure du produit (chaise, table, ...). Toutefois, l'exposition ne sera possible que si le nanomatériau est « mobile », comme cela est par exemple le cas des plastifiants ou s'il est situé sur la partie supérieure de la matrice comme pour les bactéricides. Lors de l'évaluation des risques d'une exposition à des nanomatériaux, notons qu'ils sont souvent conçus pour être liés ou intégrés à la matrice du matériau. C'est pour cette raison que l'exposition de l'utilisateur final sera extrêmement faible dans de nombreux cas. Malgré tout, cette exposition devrait faire l'objet d'une attention spécifique lors de la conception d'un produit d'ameublement.

¹⁵ Zhao X et Liu R (2012) Recent progress and perspectives on the toxicity of carbon nanotubes at organism, organ, cell, and biomacromolecule levels, *Environment International*, 40, 244–256

ORGANISER UN LIEU DE TRAVAIL SÛR

TRAVAILLER AVEC DES NANO-MATÉRIAUX de manière responsable doit être dicté par le principe de précaution, tel que préconisé par la Commission européenne et les partenaires sociaux de l'industrie de l'ameublement. Le principe n'est pas de réglementer, mais plutôt d'aborder le travail en cinq modules de construction :

lorsque l'on travaille avec des NMM et à les aider à mettre en place des mesures préventives afin d'éviter ou de réduire l'exposition à un minimum. Le guide *Guidance on Working Safely with Nanomaterials and Nanoproducts*, développé par les partenaires sociaux néerlandais, est un exemple d'un tel outil. D'autres outils se concentrent sur la dérivation des niveaux

membres de l'UE et aux États-Unis, des initiatives similaires sont en cours.

SCÉNARIOS D'EXPOSITION SUR LES LIEUX DE TRAVAIL DE L'INDUSTRIE DE L'AMEUBLEMENT

Ces dernières années, de plus en plus de recherches ont été publiées sur la possible exposition de travailleurs à des nanomatériaux dans la pratique. Le principal thème de ces études est une possible exposition durant des activités de ponçage ou de pulvérisation et des activités impliquant des poudres contenant des nanomatériaux. Les conclusions préliminaires pointent toutes dans la même direction, à savoir que l'exposition à des nanomatériaux en liberté n'est observée que lors d'activités impliquant des nanomatériaux purs ou des poudres contenant des nanomatériaux. Une fois qu'un nanomatériau est intégré à une matrice, l'exposition au nanomatériau pur n'est pas observée. Au contraire, l'exposition observée durant les activités de ponçage ou de pulvérisation est généralement liée à la matrice du produit et du nanomatériau intégré à celle-ci. Les mesures d'exposition sur le lieu de travail réalisées dans le cadre de la présente étude sont conformes à ces conclusions préliminaires.

Dans une première approche, le travail avec des NMM dans le secteur de l'ameublement pourrait être catégorisé en trois « zones » à risques:

RISQUE MAXIMAL : les activités au cours desquelles des poudres de NMM purs sont manipulées. Les premières mesures à prendre pour réduire tout risque d'exposition devraient être : (1) étudier afin de déterminer si un remplacement par un produit

TABEAU 5 Modules de construction pour une approche de précaution dans le travail avec des nanomatériaux manufacturés (NMM) dans l'industrie de l'ameublement

1. Lorsque les données disponibles sont insuffisantes pour déterminer les risques des NMM pour la santé et la sécurité, il faut éviter d'y exposer les travailleurs de l'industrie de l'ameublement:
 - Éviter l'exposition aux NMM en vertu de la stratégie de prévention.
2. En raison de l'incertitude quant aux risques pour la santé et la sécurité des NMM, les fabricants et les fournisseurs devraient informer leurs utilisateurs en aval dans l'industrie de l'ameublement sur les NMM dans leurs matériaux ou produits:
 - Déclaration de la teneur en NMM et possible libération d'un produit ou matériau par la chaîne de production ;
 - Déclaration de la teneur en NMM et possible libération d'un produit ou matériau au niveau d'une administration centrale.
3. L'enregistrement de l'exposition de l'environnement de travail aux NMM permet une surveillance précoce et un examen rétrospectif des effets néfastes sur la santé des travailleurs des NMM dans l'industrie de l'ameublement:
 - Équivalent à l'enregistrement des substances cancérigènes : nanofibres et NMM cancérigènes, mutagènes, reprotoxiques ou sensibilisants;
 - Équivalent à l'enregistrement des substances reprotoxiques : tous les autres NMM non-solubles.
4. Une communication transparente sur les risques est essentielle pour les travailleurs et les employeurs, si l'on veut organiser un milieu de travail sûr lorsqu'on travaille avec des NMM dans l'industrie de l'ameublement :
 - Information par les fiches de données de sécurité des matériaux sur les nano-risques connus, sur leur gestion et sur les lacunes de connaissances;
 - Informations concernant une application et une utilisation en toute sécurité sous la forme de manuel d'instructions
 - Exiger un rapport sur la sécurité chimique (REACH) pour les substances dépassant 1 tonne / an / entreprise.
5. Nécessité de dériver ou d'utiliser le niveau d'exposition professionnelle (NEP) nano ou les valeurs de référence nano pour déterminer la sécurité au travail :
 - Pour les nanoparticules qui pourraient être libérées dans l'environnement de travail.

Mettre en œuvre l'approche de précaution est une affaire complexe. Pour aider les employeurs et les travailleurs dans ce processus, différents outils ont été développés. Un type d'outil vise à aider les travailleurs et les employeurs à établir et à évaluer les risques pour la santé au travail

d'exposition professionnelle (NEP) spécifiques aux nanomatériaux. Ensemble, le guide et le schéma NVR peuvent être considérés comme une bonne pratique pour l'organisation d'un milieu de travail établi suivant le principe de précaution. Au niveau de l'UE, dans plusieurs autres États

IMAGE 1. Pulvérisation à haute pression dans la cabine de peinture.
Le flux d'air dans le système de ventilation est représenté par la flèche :
le vert indique une faible teneur en nanoparticules,
le rouge indique une teneur élevée en nanoparticules.



alternatif associé à des risques connus pour la santé et la sécurité est une option ;

- (2) demander à votre fournisseur de fournir les NMM sous forme de liquide ou de pâte ;
- (3) prévenir toute exposition (en protégeant le travailleur par une ventilation, de préférence à l'aide d'une hotte ou de bras robotisés dans le cadre d'un processus entièrement fermé et automatisé ou par des mesures de protection personnelle).

RISQUE MOYEN : les activités effectuées avec des matériaux contenant des NMM (à l'état liquide ou solide) c.-à-d. des peintures, laques, adhésifs, matériaux composites ou textiles. La pulvérisation, le ponçage, le polissage, le découpage et d'autres usinages de matériaux contenant des NMM sont des exemples de processus présentant un risque élevé d'exposition qui peut se présenter facilement dans l'industrie de l'ameublement. Dans ces cas, on peut s'attendre à une exposition à la poussière ou à des aérosols contenant des NMM, et il faudrait l'éviter. Les premières choses à faire pour lutter contre tout risque d'exposition devraient être :

- (1) d'éviter autant que faire se peut la production de poussières ou d'aérosols par la technique d'application,
- (2) de mettre en œuvre un système de ventilation efficace et
- (3) d'utiliser les équipements de protection personnelle contre l'inhalation ou contact avec la peau.

RISQUE FAIBLE : les activités comme la manipulation de matériaux solides ou liquides contenant des NMM mais sans production de poussières ni d'aérosols. Porter un panneau enduit de NMM ou un bidon de peinture NMM

d'un point A à un point B est un exemple. Les NMM sont contenus dans le produit et ne peuvent pas facilement migrer au simple toucher. Il est néanmoins recommandé d'éviter tout contact avec la peau en portant des gants, par exemple lors du transport de produits d'ameublement traités et recouverts de revêtement bactéricide qui est une surface réactive.

En cas d'activités impliquant des NMM ou des matériaux contenant des NMM présentant des risques élevés ou moyens, il est en outre recommandé de contrôler l'exposition réelle aux nanoparticules des travailleurs impliqués. Cela devrait, de préférence, être fait avant et après l'installation de mesures supplémentaires visant à réduire l'exposition et à vérifier l'efficacité des mesures prises et la nécessité d'installer de nouvelles mesures de contrôle de l'exposition.

Ci-dessous, vous trouverez les grandes conclusions des mesures d'exposition sur le lieu de travail réalisées dans le cadre de la présente étude. Elles ont été réalisées à l'aide de deux compteurs de nanoparticules ultrarapides (NanoTracer, Philips Aerasense) qui ont mesuré le nombre de particules présentes dans l'air et leur diamètre moyen. La composition des nanoparticules présentes dans l'air a été analysée à l'aide d'un microscope électronique à balayage associé à un spectroscope de rayons X à dispersion d'énergie (SEM/EDX¹⁶). Sur le marché, il existe plusieurs techniques d'analyse permettent d'évaluer l'exposition aux nanomatériaux d'un environnement professionnel. Pour une évaluation approfondie, il est essentiel au minimum de :

1. quantifier l'exposition à des nanoparticules produites par l'activité professionnelle

2. déterminer la composition chimique de ces nanoparticules.

Les cas suivants sont basés sur des observations à court terme. Elles ne doivent servir que de source d'inspiration pour la conception des mesures préventives à prendre sur le lieu de travail.

Pulvérisation de peintures, laques ou colles

Lorsqu'un nanoproduct est pulvérisé, l'inhalation d'aérosols est potentiellement le risque d'exposition le plus élevé et c'est pour cette raison que la pulvérisation et les tâches impliquant des matériaux sous la forme de poussière devraient être évitées autant que possible. En utilisant une brosse ou un rouleau, les risques d'exposition sont inférieurs à ceux encourus en utilisant un pistolet.

Lorsqu'une pulvérisation est effectuée de manière automatique dans un environnement fermé par un bras robotisé, les expositions professionnelles sont de même inférieures par rapport à une pulvérisation manuelle.

CAS D'OBSERVATION 1 :
PULVÉRISATION À HAUTE PRESSION d'une peinture contenant des NMM sur des panneaux de bois en cabine de peinture (image 1). Aucune mesure spéciale n'a été prise contre l'exposition évitable aux NMM, à l'exception de la protection normale contre la peinture à forte teneur en solvants. Un taux élevé d'exposition aux NMM a été observé dans l'image 1. Au niveau du travailleur, l'exposition aux NMM était très faible. Près de la paroi sous vide, des concentrations beaucoup plus élevées ont été mesurées. Cette observation laisse à

¹⁶ Les analyses SEM/EDX ont été réalisées au sein de l'Université d'Utrecht (NL), Département de microscopie électronique sous la supervision de JA Post et JW Geus.



penser qu'un système de ventilation bien conçu est efficace pour éliminer les NMM de la zone de respiration du travailleur. Cependant, aucun NEP aux nanoparticules, fondé sur la santé, n'a été établi pour ces NMM pour évaluer l'exposition des travailleurs. Si l'on compare cette activité professionnelle avec la valeur de référence nano, comme exemple de bonnes pratiques, aucune mesure supplémentaire de contrôle de l'exposition n'aurait été strictement nécessaire. Néanmoins, il est vivement conseillé de porter l'équipement approprié de protection individuelle. L'incertitude règne cependant toujours quant aux effets néfastes à long terme de brusques pics d'exposition ou de faibles doses, et cela justifie que l'on évite autant que possible une exposition aux NMM.

Quand il y a risque d'exposition à des aérosols ou poussières de NMM, il est important de doter le système de ventilation de filtres HEPA, de porter

un masque respiratoire à filtre FFP3, et des lunettes, des gants en nitrile (de préférence deux paires) et une combinaison Tyvek© (ou similaire en non-tissé) pour protection de la peau.

CAS D'OBSERVATION 2 :
UNE PULVÉRISATION À BASSE PRESSION D'UNE COUCHE DE NMM a été effectuée avec un pulvérisateur à pompe manuelle. L'image 2 illustre le processus. Le spray a servi à humecter un chiffon avec lequel la surface d'un coussin a été traitée. La pièce n'était pas ventilée. La pulvérisation a été appliquée à « hauteur de hanches ». Aucune exposition aux NMM n'a été détectée. Cet exemple laisse à penser qu'une pulvérisation prudente à basse pression avec le spray peut se traduire par une exposition faible, non détectable, et que par conséquent, il n'y aurait pas lieu de procéder à des mesures supplémentaires de contrôle

d'exposition pour prévenir une inhalation de NMM. Il faut prévoir une protection de la peau.

Parmi d'autres facteurs, l'exposition aux NMM dépend du comportement réel du travailleur au cours de ce processus d'utilisation des NMM et de l'intensité et de la durée du travail. Il est conseillé de toujours évaluer l'efficacité des mesures de contrôle d'exposition, de préférence par une analyse quantitative et qualitative.

Ponçage et polissage de peintures et de laques

CAS D'OBSERVATION 3 :
UN PONÇAGE DE PANNEAUX DE BOIS TRAITÉS AVEC DE LA LAQUE HAUTEMENT RÉSISTANTE AUX ÉRAFLURES.

Durant le ponçage, des nanoparticules sont produites sous la forme d'une fraction de la poussière de ponçage totale créée. Des nanoparticules supplémentaires sont aussi rejetées par le moteur de la ponceuse. Les données disponibles montrent qu'un ponçage à faible consommation d'énergie produit peu de nanoparticules. Le ponçage à forte consommation d'énergie produit ainsi des nanoparticules en plus grandes quantités. Les données disponibles suggèrent aussi une émission similaire de nanoparticules par les revêtements contenant et ne contenant pas d'additifs à base de nanomatériaux. Les travaux de Saber et al. (2011) suggèrent en outre qu'une poussière de ponçage de peintures contenant des nanomatériaux peut être tout aussi toxique qu'une poussière de ponçage issue d'une même peinture dépourvue de nanomatériaux. Au vu des connaissances actuelles, aucun risque d'exposition *supplémentaire* à des nanoparticules créées par la fracturation/abrasion de surfaces traitées avec des nanorevêtements ne peut donc être identifié. Toutefois,

IMAGE 2. Revêtement d'un coussin de chaise de dentiste sur lequel un spray à pompe et un chiffon doux sont utilisés.





IMAGE 3. Deux exemples de mesures de protection contre les expositions aux NMM lors du ponçage ou du polissage de matériaux contenant des NMM. À gauche : une table de travail à aspiration; à droite : une protection optimale comprenant des gants de nitrile, une combinaison Tyvek et un masque respiratoire avec filtre FFP3.

selon la matrice et la période durant laquelle les particules ultrafines inhalées restent dans les poumons, il est possible que la matrice se dissolve dans le fluide pulmonaire exposant ainsi les nanomatériaux qu'elle contenait.

Lors de la manipulation d'un nanoproduct solide (sans poussière), la probabilité d'une exposition à l'ingrédient du nanomatériau dépend de son interaction avec la matrice qui le contient (ou qui le revêt). Lorsque le NMM est inerte mais capable d'une interaction physique, cela crée une matrice dans laquelle le nanomatériau est intégré mais qui n'est pas chimiquement liée à la matrice. De cette manière, le NMM reste « libre » et pourrait être libéré, entraînant ainsi une élévation du risque d'exposition au toucher. Il pourrait être envisagé que le NMM soit chimiquement lié à la surface et soit réactif, comme par exemple une surface bactéricide. Dans ce cas, l'exposition au NMM pourrait avoir aussi de graves conséquences. Une exposition n'est que très peu probable que si le NMM est intégré et fixé à la matrice.

Un ponçage des panneaux de bois du cas d'observation 3 est effectué sur un plan de travail non-ventilé. La ponceuse a été équipée d'une ventilation locale à sa sortie. On a enregistré des NMM au cours du ponçage à sec et lors du polissage. Lorsque ces activités se sont arrêtées, le niveau d'exposition a rapidement chuté. Au cours des activités de ponçage à l'eau, aucune exposition aux NMM n'a été mesurée. Ces mesures indiquent par conséquent que le ponçage à sec et le polissage induisent une exposition aux NMM qui peut dépasser le niveau recommandé par le système de NRV néerlandais, en particulier lorsque le ponçage prend une journée entière de travail. Dans ce cas, travailler dans un environnement

non-ventilé n'est pas adéquat pour un contrôle de l'exposition, et d'autres mesures de contrôle d'exposition doivent être installées. L'image 3 montre des exemples de tables avec des cloisons d'aspiration de poussières de ponçage et d'équipements personnels de protection.

Lorsque le travail est terminé, il est également important d'éviter tout contact de poudres, de poussières ou de liquides de NMM avec la peau. Par exemple, lorsque de la poussière contenant des NMM s'est déposée sur le panneau poncé. Il ne faut jamais utiliser de l'air sous pression pour éliminer cette poussière. Lors du nettoyage du lieu de travail, il faut utiliser un aspirateur industriel avec filtre HEPA et des lingettes humides pour empêcher la dissémination des nanoparticules. L'utilisation d'un balai, d'une brosse ou d'un aspirateur ménager devrait être évitée. Les débordements, les emballages vides, ou les restes devraient être étiquetés et éliminés comme étant des déchets chimiques toxiques.

Découpe de textile

CAS D'OBSERVATION 4 : UN TISSU DE NYLON traité avec un nano-hydrophobe est découpé avec des ciseaux normaux. Aucune exposition aux nanoparticules n'a pu être détectée. Il faudrait accorder une attention particulière à une éventuelle exposition aux nanofibres. Même si aucune exposition à des fibres contenant des NMM n'a été détectée, il est conseillé de travailler en face d'une cloison aspirante ou sur une table à aspiration sous vide quand il y a un risque d'exposition aux fibres contenant des NMM.

L'exposition effective varie fortement en fonction de facteurs tels le produit spécifique, les conditions

environnementales précises et la situation concrète de travail du (des) travailleur(s) concerné(s).

LES QUATRE EXEMPLES d'activités dans l'industrie de l'ameublement présentés ici ne doivent pas être généralisés à d'autres pratiques de travail similaires. Pour chaque cas particulier, une nouvelle évaluation des risques devrait être effectuée pour juger de l'efficacité des mesures de contrôle d'exposition en place et pour identifier les mesures préventives à mettre en œuvre, afin de protéger la santé des travailleurs. Mais ces quatre cas d'observation montrent que les mesures actuelles de contrôle d'exposition prescrites pour l'industrie de l'ameublement peuvent s'avérer bien efficaces pour protéger les travailleurs contre l'exposition aux NMM présents dans les produits avec lesquels ils travaillent.

COMMUNICATION DES RISQUES TRANSPARENTE ET TRAÇABILITÉ

Le « partage d'informations concernant les nanomatériaux » pose un énorme problème dans la chaîne de valeur du produit dans laquelle ils sont utilisés, dans l'industrie de l'ameublement, mais aussi dans d'autres secteurs. En 2012, il y a peu de transparence sur la présence des NMM dans les matériaux et produits utilisés dans les meubles. Cela est dû principalement au fait que la législation européenne n'exige pas (encore) de communication nano-spécifique sur les NMM dans les matériaux ou produits, allant au-delà des conditions déterminées pour toutes les substances par le règlement REACH et la directive CLP. L'organisation éventuelle d'une telle communication et la façon de procéder dans un avenir proche sont actuellement débattues au niveau européen.

La communication sur les NMM dans les matériaux et produits sur une base volontaire ne rencontre que peu de succès. Les principales raisons de cette absence de communication mise en lumière par les différents acteurs de l'industrie de l'ameublement sont résumées dans ce rapport. La chaîne de communication débute habituellement chez le fabricant de NMM, qui informe le(s) fabricant(s) de matériaux, qui informe le fournisseur, qui informe le fabricant de meubles. Le fabricant de meubles informe ses travailleurs des NMM utilisés et les utilisateurs en aval du meuble produit. La chaîne d'approvisionnement des fabricants de matériaux peut être longue. La chaîne des textiles par exemple, peut se composer d'un fabricant de fibres livrant à un producteur de fil, qui vend ensuite le fil à une entreprise de tissage. Toutefois, la production de meubles peut également être un patchwork de différents sous-traitants impliqués dans l'assemblage d'un produit. À chaque étape supplémentaire dans la chaîne, de plus en plus d'informations précieuses sur les NM tendent à se perdre.

Dans la communication du fournisseur au fabricant de meubles, quatre facteurs dominent le manque de traçabilité des NMM dans les matériaux. Le premier facteur est celui de la compétitivité et des droits de propriété intellectuelle. Le second est le marketing. Pour certains matériaux, la « *nanotechnologie* » fait vendre. Il est sous-entendu que des produits contiennent des NMM, mais il peut arriver que ce ne soit pas le cas. Pour d'autres matériaux, cet argument est moins convaincant. Dès lors, ils ne

sont pas souvent « étiquetés » en tant que nano. Un certain nombre de matériaux ou produits sont correctement étiquetés et contiennent des informations spécifiques sur les NMM. Une troisième raison important limitant la traçabilité des NMM dans les matériaux est celle du débat social sur les aspects incertains de santé et de sécurité des NMM. Plutôt que de communiquer sur cette incertitude, cette dernière est devenue une raison de confidentialité afin de « ne pas soulever de questions non nécessaires ». Le quatrième facteur limitant la communication est celui de l'ignorance. Les fournisseurs de matériaux sont souvent assez mal informés eux-mêmes et dès lors, ils ne peuvent fournir que très peu ou pas du tout d'informations au fabricant de meubles.

Le fabricant de meubles est responsable de la santé et de la sécurité de ses travailleurs. En plus, il doit s'assurer que les produits sont sans danger. En matière de communication sur les NMM, cela implique :

1. d'être informé (par le fournisseur ou le sous-traitant) ;
2. d'organiser un lieu de travail sûr en vertu du principe de précaution et d'informer/former les travailleurs concernés ;
3. d'informer les utilisateurs en aval d'une manière appropriée.

Des fabricants de meubles indiquent que les incertitudes en matière de santé et de sécurité les empêchent actuellement souvent d'utiliser des NMM dans leurs produits. En plus, la question de *comment réagir aux informations sur les NMM reçues* influence leur désir de connaissances et d'informations sur les NMM qu'ils pourraient déjà utiliser. Certains fabricants de meubles préféreraient ne pas savoir, car à partir du moment où ils seraient informés, ils ne sauraient

pas comment réagir. D'autres ont déjà agi, en demandant tout simplement à leurs fournisseurs et sous-traitants de leur signaler la possible présence de NMM dans leurs produits.

Cette situation mérite une attention particulière. Il est recommandé aux fabricants de meubles de demander à leurs fournisseurs si leurs matériaux contiennent des NMM et d'être informés de la façon de les appliquer d'une manière responsable. Dans un même temps, les fabricants de meubles devraient être rassurés si lorsqu'ils travaillent avec des NMM, ils sont en mesure de mettre en place un lieu de travail sûr et respectant le principe de précaution. Diverses mesures de contrôle de l'exposition sont disponibles, telles que les systèmes de ventilation spécifiques et les équipements de protection personnelle. Ils se sont avérés efficaces pour empêcher toute exposition aux NMM. En outre, il existe plusieurs outils pour aider les employeurs et les travailleurs à réaliser une analyse des risques, une évaluation des risques, comprenant un plan d'action pour travailler en toute sécurité avec les NMM. Les employeurs et les travailleurs devraient également être informés que la toxicité nano-spécifique des NMM dépend du risque d'exposition. Par exemple, les NMM encastrés ou fixés dans une matrice peuvent être utilisés en toute sécurité. Toutefois, lorsque les NMM sont fixés, une exposition par contact direct avec la surface du matériau peut donner lieu à des effets néfastes si le NMM possède des propriétés réactives, comme par exemple dans le cas de certains revêtements biocides. L'industrie de l'ameublement devrait être encouragée à étudier les conditions dans lesquelles ils peuvent profiter du potentiel des NMM dans l'innovation de l'ameublement de manière responsable.

CAMPAGNES EN MATIÈRE DE RÉGLEMENTATION DES NANOMATÉRIAUX ET DES NANOPRODUITS

Comme tous les autres produits chimiques, l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction des nanomatériaux sont en principe soumis à la réglementation REACH¹⁷. Le Rapport de la Commission européenne *Nanomaterials in REACH* (2008) offre un aperçu de l'impact de REACH sur la réglementation des nanomatériaux¹⁸. L'autre réglementation majeure en vigueur en matière de substances et mélanges est la réglementation relative à la classification, l'étiquetage et l'emballage CLP¹⁹. Les nanomatériaux qui remplissent les critères permettant de les qualifier de dangereux aux termes de la Réglementation CLP doivent être classifiés et étiquetés. Le rapport de la Commission européenne intitulé *Regulation, Classification, Labelling and Packaging of nanomaterials under REACH and CLP* (2009) offre un aperçu de l'impact de REACH et de CLP sur

les nanomatériaux²⁰. La nécessité de rendre ces législations plus précises au regard des nanomatériaux et d'élaborer de nouvelles lignes directrices est actuellement à l'étude.

Une première initiative concrète menée par la France visant à rendre obligatoire la mention de la présence de nanomatériaux dans les produits a été lancée dans le cadre de la législation environnementale française appelée *Loi Grenelle*²¹. Elle devrait entrer en vigueur au 1er janvier 2013 et prévoit l'apposition d'une telle mention sur tous les produits fabriqués, importés et distribués à partir de 2012. Cette réglementation s'applique aux Produits chimiques, biocides et substances à l'état nanoparticulaire (article 1) lorsqu'ils sont fabriqués importés ou distribués en France à hauteur d'au moins 100 grammes par an. D'autres pays tels que l'Italie, l'Allemagne et la Belgique étudient aussi la possibilité de créer une forme de notification des nanomatériaux afin d'avoir une meilleure vue d'ensemble de leurs marchés nationaux.

¹⁷ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/reach/index_en.htm

¹⁸ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/reach/nanomaterials_en.pdf

¹⁹ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/classification/index_en.htm

²⁰ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/reach/nanos_in_reach_and_clp_en.pdf

²¹ <http://www.nanonorma.org/>

REMARQUES DE CONCLUSION

UNE ÉTUDE APPROFONDIE

de l'industrie européenne de l'ameublement et divers entretiens avec des sociétés d'ameublement et de fournisseurs de matériaux montrent qu'en 2012, l'utilisation de nanomatériaux se trouve toujours à un stade précoce de développement. La nanotechnologie peut avoir des implications énormes sur l'avenir de l'ameublement, sur la qualité et les fonctionnalités, mais aussi sur les performances environnementales, professionnelles et de santé publique liées à la fabrication des produits finaux. Les revêtements bactéricides, hydrophobes, hautement résistants aux éraflures et anti-UV en sont de parfaits exemples. Malgré le potentiel novateur dans le secteur, d'immenses obstacles se dressent sur le chemin en termes de coûts, de qualité (à long terme), d'incertitudes en matière de santé et de sécurité et d'acceptation par les consommateurs. Toutefois, les nanomatériaux font l'objet d'un certain nombre d'applications commerciales, notamment les revêtements à base de verre liquide permettant d'obtenir des revêtements hautement résistants aux éraflures, hydrophobes, antimicrobiens ou faciles à nettoyer, anti-UV et bactéricides ainsi que des textiles faciles à nettoyer et le béton ultra hautes performances.

Cette étude menée dans l'industrie européenne de l'ameublement montre aussi un degré d'ignorance certain. Les fabricants de meubles sont

globalement mal informés à l'égard des nanomatériaux qu'ils utilisent et les informations communiquées sont souvent difficiles à interpréter. Cette situation mérite une attention particulière. Il est recommandé aux fabricants de meubles de demander à leurs fournisseurs si leurs matériaux contiennent des nanomatériaux et de s'informer sur la manière de les appliquer d'une manière responsable.

Les nanomatériaux peuvent être plus toxiques que leurs équivalents microscopiques et peuvent avoir des conséquences graves et inattendues pour la santé du fait de leur taille microscopique, notamment des maladies cardiovasculaires, l'inflammation des poumons, des effets sur le système nerveux central, la mort cellulaire, la formation de tissus cicatriciels (par exemple dans les poumons), des malformations des embryons et le développement de cellules cancéreuses dans les tissus atteints. Dans le même temps, les fabricants de meubles doivent organiser un lieu de travail sûr en vertu du principe de précaution lorsqu'ils utilisent des nanomatériaux. Plusieurs outils peuvent aider les employeurs et les travailleurs à évaluer les risques, notamment un plan d'action pour travailler en toute sécurité avec les nanomatériaux. On peut s'attendre à des risques d'exposition lorsqu'une entreprise produit de la poussière ou des aérosols contenant des nanomatériaux.

L'application de peintures ou de colles, le ponçage et le polissage de surfaces recouvertes ou le sciage de matériaux solides sont des exemples d'activités professionnelles où ces risques existent. Diverses mesures de contrôle de l'exposition, telles que les systèmes de ventilation spécifiques et les équipements de protection personnelle, ont prouvé leur capacité à empêcher une exposition aux nanomatériaux. L'automatisation du processus de fabrication à l'aide de bras robotisés dans un environnement clos, constitue un autre moyen d'éviter l'exposition des travailleurs. Les conclusions préliminaires laissent aussi à penser que les nanomatériaux présents dans de la poussière peuvent être dépourvus de la toxicité spécifique aux nanoparticules. L'exposition à des nanomatériaux présenterait un risque faible lorsque les travailleurs touchent les matériaux intégrés et fixés à une matrice.

Lors de l'analyse du potentiel des NMM, les fabricants de meubles devraient mettre en place des mesures de précaution afin de protéger la santé et la sécurité des travailleurs, en se basant sur les informations fournies par les fabricants de ces NMM, une évaluation des risques et les principes généraux de prévention associés aux véritables produits chimiques.