

Aspects techniques : pollution de l'air et santé respiratoire au travail, comment prévenir ?

Nanomatériaux : point sur la prévention technique

Myriam RICAUX

Ingénieur chimiste, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS)

Les nanomatériaux nous placent dans un contexte d'incertitude : quels sont les effets de ces nouveaux produits chimiques sur la santé ? Quelle est la caractérisation de l'exposition professionnelle ? Qu'en est-il de l'évaluation des risques en entreprise et dans les laboratoires de recherche ? Quelles démarches de prévention peut-on préconiser ? Que sait-on réellement de l'efficacité des moyens de prévention actuellement mis en œuvre dans les entreprises ?

Situations d'exposition professionnelle

On peut distinguer deux types d'exposition professionnelle aux nanomatériaux.

- **Les expositions liées à la fabrication et à l'utilisation intentionnelles de nano-objets et de nanomatériaux**

Toutes les étapes de production (fabrication, mise en suspension, pesée, échantillonnage, etc.) peuvent exposer les salariés aux nanomatériaux. Par exemple, le transfert, l'échantillonnage et la mise en suspension de nanopoudres peuvent conduire à la formation d'un nano-aérosol qui peut être inhalé par le salarié. De même, le transvasement, l'agitation, le mélange ou le séchage d'une suspension liquide peuvent conduire à la formation de gouttelettes susceptibles d'être inhalées par le salarié ou de se déposer sur sa peau. Lors de l'usinage de nanocomposites, lorsque par exemple on découpe ou perce un nanocomposite, on peut être amené à larguer dans l'atmosphère de travail des nano-objets que le salarié peut inhaler. Des expositions aux nano-objets peuvent également découler du conditionnement, de l'emballage et du transport des produits, du nettoyage des équipements et des locaux ainsi que des opérations de maintenance (tâches souvent sous-traitées), de la collecte et du conditionnement des déchets et enfin des fonctionnements dégradés ou des incidents.

- **Les expositions liées à des procédés dont la finalité n'est pas la production intentionnelle de nano-objets mais dont la mise en œuvre en génère**

Il s'agit dans ce cas de particules ultrafines. De nombreux procédés thermiques peuvent générer ce type de particules (soudure, coupage des métaux) de même que des procédés mécaniques (usinage, ponçage) et des combustions. Lorsqu'on soude, on peut émettre jusqu'à 400 000 nanoparticules par centimètre cube. Sur un tarmac d'aéroport, il peut y avoir jusqu'à 700 000 nanoparticules par centimètre cube. Dans la salle où nous nous trouvons actuellement, on peut en trouver jusqu'à 10 000 par centimètre cube.

L'évaluation des risques

Procéder à une évaluation des risques suppose une connaissance avérée des dangers pour la santé et la sécurité ainsi que des niveaux d'exposition professionnelle. A l'heure actuelle, il

Il n'existe pas d'instrument de mesure qui fasse l'objet d'un consensus au niveau international pour caractériser les expositions professionnelles. Très peu de données sont publiées sur les situations d'exposition professionnelle. En ce qui concerne la toxicité, les connaissances sont encore fragmentaires. La plupart d'entre elles proviennent d'études ayant généralement une portée limitée, réalisées sur cellules ou chez l'animal - par conséquent difficilement extrapolables à l'homme. Procéder à une évaluation quantitative de risques s'avère difficile à mettre en œuvre dans les milieux professionnels. Néanmoins, il est toujours possible d'évaluer différents facteurs qui peuvent contribuer aux risques. On peut s'intéresser en entreprise :

- aux quantités de produits manipulés ;
- à l'état dans lequel se trouvent les produits (suspensions liquides, poudres, pastilles) ;
- à la capacité qu'ont les produits à se retrouver dans l'air et sur les surfaces de travail (formation d'aérosols ou de gouttelettes) ;
- à l'exposition potentielle des salariés (inhalation, contact cutané, ingestion) ;
- aux données toxicologiques qui ont pu être publiées ;
- aux propriétés physico-chimiques qui ont un impact sur la toxicité des nanomatériaux ;
- aux données d'exposition (sources d'émission, niveaux d'empoussièrement attendus)
- aux dispositifs de prévention mis en œuvre ;
- enfin, il ne faut pas omettre les risques d'incendie et d'explosion.

La démarche de prévention

1. Principes généraux

Il importe, lors de la manipulation de ces nouveaux produits chimiques, de développer une approche fondée sur la précaution et de mettre en place une stratégie de prévention et de bonnes pratiques adaptée à la nature chimique et aux propriétés spécifiques du produit, à la quantité de produit manipulée, aux procédés mis en œuvre et au mode de travail. L'objectif est de réduire les expositions aux niveaux les plus bas possibles. Il s'agira donc de définir et de déployer des pratiques sécurisées qui seront conduites à évoluer au fur et à mesure de la publication d'informations sur les effets biologiques des nanoparticules. Concrètement, ces pratiques sécurisées ne sont pas très différentes de celles qui sont recommandées pour toute activité exposant à un produit chimique dangereux. Néanmoins, elles prennent une importance particulière en raison de la taille des nanoparticules, qui ont un temps de sédimentation très long. Les confinements sont plus délicats à réaliser. Enfin, une attention particulière doit être portée aux nanoparticules pour lesquelles il existe peu de données toxicologiques ou pour lesquelles les premières données démontrent des effets toxiques, notamment chez l'animal (nanotubes de carbone).

Il n'existe pas de nanoparticule générique. Les nano-objets et nanomatériaux constituent donc une famille d'agents chimiques qui présentent de multiples différences en termes de caractéristiques dimensionnelles et de propriétés physico-chimiques. Par conséquent, il importe en entreprise de mettre en place une politique de gestion des risques au cas par cas, fondée sur la taille, la nature chimique et les propriétés spécifiques de la substance. Les mêmes stratégies de prévention ne valent donc pas lorsqu'on a affaire à des nano-objets « anciens » comme la silice précipitée ou « nouveaux » comme les nanotubes de carbone qui causent chez l'animal des granulomes, des fibroses voire des mésothéliomes.

Lorsque des données sont disponibles sur des objets de taille micrométrique et de même nature chimique, l'hypothèse minimale pour élaborer une démarche de prévention est que les objets nanométriques correspondants présentent au moins la même toxicité et sont probablement plus dangereux.

Au total, la démarche de prévention diffère peu de celle qu'on propose pour tout agent chimique :

- dans un premier temps : substituer ;
- dans un deuxième temps : optimiser le procédé pour obtenir un niveau d'empoussièrement aussi faible que possible ;
- capter les polluants à la source ;
- employer un équipement de protection individuelle ;
- collecter et traiter les déchets ;
- former et informer les salariés ;
- suivre l'exposition des salariés.

Il est important de noter et de conserver toutes les informations pertinentes relatives à l'exposition des salariés : types de nanoparticules manipulées, quantités mises en œuvre, opérations et tâches effectuées, moyens de prévention adoptés.

2. La substitution

La substitution recouvre différents aspects :

- manipuler les nanoparticules sous forme de suspension liquide, de gel, à l'état agrégé ou aggloméré plutôt que sous forme de poudre, afin d'éviter la formation de nanoaérosols ;
- privilégier les techniques de fabrication en phase liquide au détriment de celles en phase vapeur ou des méthodes mécaniques de broyage ;
- modifier les équipements afin de fabriquer en continu plutôt que par campagnes ;
- éliminer les opérations critiques particulièrement exposantes (transvasement, pesée, échantillonnage) ;
- optimiser les procédés afin d'utiliser des quantités plus faibles ;
- remplacer les installations vétustes.

3. La ventilation

Dès que le contexte le permet, notamment lorsqu'on manipule des nanopoudres, il est conseillé de travailler en vase clos. Ceci va généralement de pair avec la mécanisation de l'ensemble du procédé ou avec l'automatisation de certaines tâches les plus exposantes. Si le travail en vase clos n'est pas possible, il est conseillé d'encoffrer les procédés, c'est-à-dire de mettre en place des barrières physiques. L'encoffrement est toujours couplé à un système de captage. En laboratoire notamment, il est conseillé d'utiliser des sorbonnes ou des boîtes à gants. Notons qu'il existe des dispositifs de ventilation spécifiques pour les nanoparticules, appliquant le principe des postes de sécurité microbiologique. Ce sont des enceintes dans lesquelles la ventilation est assurée par un flux d'air unidirectionnel descendant - l'air étant par ailleurs filtré. Des études tendent à prouver que les sorbonnes de laboratoire sont efficaces vis-à-vis des nanoparticules dès lors que la vitesse frontale d'air est comprise entre 0,4 et

0,5 mètre par seconde. En atelier, il est conseillé de mettre en place des buses aspirantes, des entonnoirs aspirants ou des tables ventilées.

Une fois l'air des lieux de travail ventilé, il est recommandé de filtrer l'atmosphère. On utilise pour cela des médias fibreux (filtres à fibres métalliques, naturelles ou synthétiques). Il existe des filtres fins, grossiers ou ultrafins. Certains filtres sont classifiés à très haute efficacité ou à très faible pénétration. Une erreur très répandue dans le domaine de la filtration consiste à penser que seules les particules qui ont un diamètre supérieur aux pores du filtre sont arrêtées. Or il n'en est rien. La capture des particules par un filtre à fibres est fonction de plusieurs mécanismes physiques, lesquels dépendent de la taille de la particule :

- taille supérieure à un micromètre : impaction inertielle (les particules impactent les fibres et y adhèrent) ;
- taille supérieure à 0,1 micron : interception directe (les particules suivent les lignes de courant qui entourent les fibres du filtre et, dès qu'elles passent à une distance inférieure à 100 rayons, adhèrent aux fibres du filtre) ;
- nanoparticules : diffusion brownienne (les nanoparticules sont animées d'un mouvement brownien, aléatoire et désordonné, qui accroît leur probabilité d'entrer en contact avec les fibres du filtre et d'y adhérer).

En deçà de 100 nanomètres, l'efficacité des filtres augmente lorsque la taille des particules diminue. On sait filtrer les nanoparticules jusqu'à environ 3 nanomètres.

4. Mesures organisationnelles

Il est conseillé de nettoyer régulièrement et soigneusement les sols et les surfaces de travail à l'aide de linges humides ou d'aspirateurs équipés de filtres HEPA, de proscrire la soufflette et le balai et, si possible, de mettre en dépression les salles et les cabines dans lesquelles les nanomatériaux sont manipulés afin d'éviter leur dissémination dans l'atmosphère des lieux de travail. On recommande de stocker les produits dans des réservoirs ou des emballages doubles totalement étanches, fermés et étiquetés, entreposés dans des locaux frais, bien ventilés et à l'abri de toute source d'ignition ou de chaleur. Concernant le traitement des déchets, les conditionnements, filtres ou équipements de protection individuelle jetables doivent être traités comme des déchets dangereux, conditionnés dans des sacs fermés étanches et étiquetés, et par la suite incinérés ou enfouis - voire recyclés.

Venons-en aux équipements de protection individuelle. Pour les travaux peu exposants, il est conseillé de porter un appareil filtrant aérosol à ventilation libre ou assistée. Pour les travaux très exposants, notamment la manipulation de nanopoudres, il est conseillé d'utiliser des appareils isolants. Les fibres de verre de classe 3 sont les plus efficaces vis-à-vis des nanoparticules. Même si l'on sait filtrer les nanoparticules, il faut garder en mémoire que compte tenu de leur taille, elles passent par la moindre fuite. En manière de protection cutanée, il est conseillé de porter des combinaisons à capuche de type 5, des gants étanches, des lunettes et des couvre-chaussures. Les combinaisons en Tyvek sont plus efficaces contre les nano-aérosols que les combinaisons en coton ou en polypropylène. Les gants (en nitrile, vinyle ou latex) semblent être globalement efficaces.

5. Conclusion

De nombreuses entreprises fabriquent et utilisent des nanomatériaux en France. Bien des incertitudes persistent, notamment sur la toxicité de ces nouveaux produits chimiques. Il convient donc de limiter les expositions professionnelles. L'instauration de procédures strictes de prévention tout au long du cycle de vie du produit demeure la seule façon de prévenir tout risque de pathologie professionnelle par la suite. Il importe de privilégier la protection collective et la protection intégrée aux procédés. Au-delà des milieux professionnels, les consommateurs sont concernés par les nanoparticules pouvant être présentes dans les produits courants ou dans l'environnement.