



L'INRS est une association loi 1901 sans but lucratif gérée par un conseil d'administration paritaire. Référence en matière de prévention des risques professionnels, l'Institut participe au développement de la culture « santé et sécurité au travail » au travers de ses cinq modes d'action complémentaires : études et recherche, assistance, formation, information et communication.

COORDONNÉES

INRS
30 rue Olivier Noyer
75680 Paris Cedex 14
Tél. : (33) (0)1 40 44 30 00
Fax : (33) (0)1 40 44 30 99
Site web : www.inrs.fr

CAHIER D'ACTEUR SUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA RÉGULATION DES NANOTECHNOLOGIES

Nanotechnologies

Nanoparticules et nanomatériaux : un enjeu majeur pour la santé au travail

L'évaluation de l'exposition est un élément essentiel de l'évaluation des risques liés aux nanoparticules. Identifier les scénarios d'exposition, caractériser ce à quoi sont réellement exposées les personnes, doit être obtenu par l'intermédiaire d'études menées sur le terrain dans les entreprises ou les laboratoires. Néanmoins, c'est une tâche actuellement difficile car de nombreux instruments sont nécessaires pour obtenir les paramètres requis (composition, quantité, taille, morphologie, etc.).

Les besoins de recherche sont immenses et l'INRS, comme de nombreux autres instituts de recherche, se mobilise pour développer les connaissances sur la toxicité des nanoparticules et concevoir des méthodes fiables pour évaluer l'exposition.

Dans le cadre de la prévention des risques professionnels, compte tenu des nombreuses incertitudes, il est recommandé d'adopter une forme de précaution et d'instaurer des procédures spécifiques de prévention, qui seront actualisées pour tenir compte de l'évolution des connaissances.

Les nanoparticules sont des particules de composition et de formes variées, de très petite taille (inférieure à environ 100 nm). Leurs propriétés physiques et chimiques peuvent être bien différentes de celles de particules de même composition chimique mais de plus grande taille.

Les nanoparticules forment généralement des amas plus ou moins compacts, stables et parfois de grande taille (quelques micromètres). Elles se trouvent sous différentes formes (poudre, suspension liquide, gel) et peuvent être incluses dans des matériaux composites (nanomatériaux).

Les nanoparticules et les nanomatériaux sont des produits chimiques préoccupants pour la santé et la sécurité au travail. Les règles de prévention du risque chimique définies par le code du Travail s'appliquent donc aux activités impliquant ces produits. La démarche de prévention exige entre autres de limiter l'exposition des salariés (confinement, zones de travail spécifique, protection collective et individuelle, formation) et d'en assurer la traçabilité.

Le danger d'un composé chimique est l'ensemble des propriétés qui ont le potentiel de causer des effets néfastes pour la santé. Propriété inhérente du composé, la toxicité ne représente qu'un élément du risque. En effet, le risque résulte de la combinaison de la toxicité et de l'exposition. Ainsi une bonne connaissance qualitative et quantitative de l'exposition est un élément essentiel de l'évaluation et de la gestion du risque.

Secteurs industriels et populations exposées

Les nanoparticules et nanomatériaux ne sont pas seulement une curiosité de laboratoire et certains sont déjà une réalité, puisque produits dans des tonnages élevés depuis des années, comme le dioxyde de titane, l'alumine, le noir de carbone ou la silice.

A ce jour néanmoins, seuls quelques procédés ont atteint un degré élevé de maturité industrielle et quelques produits relativement faciles à fabriquer se retrouvent commercialisés (cosmétique, textile, sport, bâtiment, transport). Les activités se situent encore à un niveau pilote dans de nombreux secteurs comme la chimie, la construction, le transport, l'énergie, l'électronique, la médecine, le textile, l'alimentation ou encore l'environnement.

Plusieurs études ont été conduites récemment pour tenter d'identifier et de dénombrer les populations potentiellement exposées au travail. Les résultats sont parcellaires. Il semble que ce soit l'industrie chimique qui ait le plus recours à l'utilisation de nanoparticules (environ 20% selon une étude réalisée en Suisse). Compte tenu du développement de ces nouvelles technologies, les populations de travailleurs exposés pourraient significativement se diversifier et croître au cours des années à venir.

Ces études ne donnent que très rarement une information quantitative des expositions (niveaux des concentrations, durée d'exposition, tailles des nanoparticules, etc.). Certaines informent toutefois sur les quantités produites, utilisées et stockées, les

usages, les stratégies de prévention mises en œuvre au poste de travail pour protéger les opérateurs et l'environnement.

Sources d'exposition professionnelle

L'exposition peut se produire tout au long de la vie d'un produit, à savoir lors :

- > de la synthèse (ouverture de réacteur, récupération de produit, conditionnement...) et la manipulation (échantillonnage, transvasement, vidange de trémie, mélange, transport, etc.) de nanoparticules,
- > de l'élaboration de nanomatériaux (incorporation dans diverses matrices) et leur transformation (usinage, ponçage, etc.),
- > du nettoyage et de la maintenance des équipements (réacteurs, sorbonnes, boîtes à gants, équipements de filtration...),
- > de la collecte et du traitement des déchets.

En plus des facteurs liés au poste de travail, la forme sous laquelle se trouvent les nanoparticules (poudre, suspension liquide, gel, nanocomposite, etc.) et la capacité des produits à émettre dans l'air des aérosols lors de leur manipulation constituent des facteurs qui influent sur le niveau d'exposition. Enfin, l'exposition doit être envisagée lorsque l'activité est en fonctionnement normal mais également en mode dégradé ou lors d'incidents.

Effets sur la santé

Les connaissances sur la toxicité des nanoparticules manufacturées sont encore limitées. Elles sont le fruit exclusif d'études animales et de tests in vitro sur des modèles cellulaires dont les résultats sont difficilement extrapolables à l'homme.

L'étude des effets sur la santé des nanoparticules nécessite d'envisager les trois voies d'exposition potentielles que sont les voies digestive, cutanée et respiratoire, cette dernière étant

considérée comme la voie majeure d'exposition en milieu professionnel.

Il a été montré que certaines nanoparticules, dans des conditions expérimentales, sont capables de franchir les barrières biologiques et de migrer vers d'autres sites de l'organisme (phénomènes de translocation circulatoire et cérébrale). Les données toxicologiques actuelles, bien que parfois contradictoires, incitent par ailleurs à s'interroger sur les risques encourus, y compris pour des composés réputés inertes à plus grande échelle. Un certain corpus de connaissances est en effet en faveur de l'hypothèse d'une plus grande toxicité des nanoparticules, notamment en ce qui concerne les effets inflammatoires pulmonaires, comparativement aux particules micro- et macroscopiques de même nature chimique.

Les résultats de ces études doivent toutefois être examinés avec prudence. L'approche toxicologique conventionnelle basée sur l'existence de relations dose-effet où la dose est exprimée en masse est remise en question. En effet, dans le cas des nanoparticules, de nombreux paramètres autres que la composition chimique et la masse semblent contribuer aux effets toxiques et influencer la pénétration et le devenir des particules dans l'organisme. Sans vouloir être exhaustif, on peut par exemple citer la taille, le nombre et la forme des particules, leur surface, leurs propriétés chimiques de surface ou encore leur état d'agrégation.

Au total, chaque produit synthétisé pourrait avoir des propriétés différentes. Dans un tel contexte, l'évaluation du danger reste difficile et des études complémentaires sont nécessaires.

Caractérisation de l'exposition professionnelle

Habituellement, pour toute substance chimique sous forme d'aérosol et quelle que soit la taille des particules qui la composent, l'exposition professionnelle est caractérisée de manière quantitative par la concentration en masse (exprimée par exemple en mg/m³ d'air) associée aux

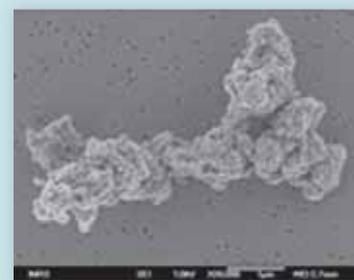
gammes de tailles des particules qui pénètrent dans les différentes régions du système respiratoire (fractions inhalable, thoracique et alvéolaire). Pour les nanoparticules, les connaissances convergent vers le fait que, pour les substances insolubles ou faiblement solubles, les deux seuls indicateurs que sont la masse et la composition chimique semblent inappropriés et la question des critères de mesures de l'exposition en termes de gamme de tailles, de concentration et autres paramètres reste en suspens.

Concernant la gamme de tailles, il est prudent de considérer toutes les particules susceptibles d'atteindre les voies respiratoires et de s'y déposer. Cela concerne les nanoparticules individuelles (de dimension inférieure à environ 100 nm) ainsi que les agglomérats et agrégats – dont la dimension peut être supérieure à 1 µm – puisqu'il est probable que ce soit le caractère nanostructuré d'une particule qui pilote une réponse biologique spécifique. Pour le reste, il n'y a à ce jour encore aucune certitude pour mesurer telle concentration (en surface, en nombre ou en masse) ou tel paramètre (forme des particules, réactivité de surface, solubilité, charge...) plutôt qu'un autre en plus de la taille, de la composition et de la structure chimique.

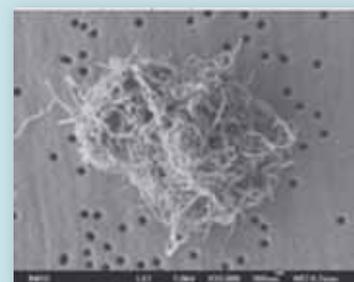
La recherche se poursuit afin de développer une méthodologie adaptée à la mesure de l'exposition professionnelle pour les nanoparticules. La stratégie de mesure recommandée repose sur la caractérisation de différents paramètres complémentaires, l'objectif étant que les résultats pourront être interprétés intégralement à la lumière des connaissances futures sur la toxicité et les effets sur la santé. Il existe à ce jour des instruments permettant d'obtenir directement ou indirectement un certain nombre de caractéristiques des nanoparticules, mais la majorité ont été conçus pour des applications de recherche plutôt que pour des mesures de terrain : la tâche est complexe et relève encore du domaine des spécialistes. Le développement de méthodes fiables constitue un des importants challenges pour ces prochaines années.



Petit agrégat compact (~ 200 nm) de nanoparticules (~20 nm) de dioxyde de titane



Gros agrégat compact (~5 µm) de nanoparticules (~20 nm) de dioxyde de titane



Pelote (~2 µm) de nanotubes de carbone multiparois

Prévention des risques

Compte tenu des nombreuses inconnues liées aux nanoparticules et nanomatériaux, à leurs effets potentiels sur la santé et aux difficultés rencontrées pour caractériser l'exposition, une évaluation quantitative des risques s'avère difficile à mettre en œuvre dans la majorité des situations. Il convient donc, dans tous les environnements professionnels et tout au long du cycle de vie des produits, de développer un raisonnement basé sur la précaution et de mettre en place des stratégies de prévention adaptées :

- > à la nature chimique et aux propriétés spécifiques du produit,
- > à la quantité de produit fabriquée ou utilisée,
- > aux procédés mis en œuvre,
- > aux modes de travail,
- > aux populations exposées.

Seront également pris en compte les risques d'explosion de poussières.

En l'état actuel, la prévention se réfère à la réglementation concernant le risque chimique (articles R. 4412-1 à R. 4412-58 du Code du travail) ; la démarche de prévention qu'il convient de mettre en œuvre est alors la suivante :

- > optimiser le procédé pour limiter l'exposition (confinement et techniques mécanisées),
- > utiliser la substance sous une forme moins encline à se disperser dans l'air (pastille plutôt que suspension, plutôt que poudre),
- > utiliser des équipements vérifiés pour le captage à la source et la protection collective (intégrant des systèmes de filtration adaptés pour le rejet),
- > employer un équipement de protection individuelle adapté,
- > collecter et traiter les déchets,
- > former et informer les salariés exposés,
- > mettre en place un suivi d'exposition des salariés (types de nanoparticules, quantités, opérations et tâches, moyens de prévention, etc.).

Cette démarche de prévention exige donc, entre autres, de limiter l'exposition des salariés et d'en assurer la traçabilité. Cette démarche n'est pas très différente de celle qui est recommandée pour toute activité exposant à des produits chimiques dangereux. Une attention particulière doit être portée aux nanoparticules pour lesquelles il y a peu de données toxicologiques ou pour lesquelles les premiers résultats de recherche démontrent des effets biologiques inquiétants.

> **Pour en savoir plus, consulter le dossier « Les nanomatériaux » sur www.inrs.fr**

SYNTHÈSE

Face au développement des nanotechnologies, l'exposition aux nanoparticules concerne un nombre croissant de travailleurs. Les connaissances directement applicables aux nanoparticules étant limitées, les besoins de recherche appellent une réponse pluri-

disciplinaire renforcée et coordonnée au niveau national et international.

L'INRS se mobilise pour développer les connaissances et les mettre à la disposition de tous ceux qui, en entreprise, sont en charge de la prévention des risques. Sans attendre que

toutes les questions soient réglées, les éléments aujourd'hui disponibles, mêmes parcellaires, sont suffisants pour recommander la prudence et la mise en place de procédures spécifiques de prévention adaptées à chaque environnement professionnel.

