

LES NANOMATERIAUX

Effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement

Synthèse

I Les nanomatériaux : présentation

Les nanomatériaux manufacturés, objets du présent rapport sont des matériaux constitués de particules issues d'un procédé de fabrication spécifique, de taille nanométrique, c'est-à-dire pour schématiser de taille inférieure à 100 nm, ils se différencient des particules ultra fines d'origine naturelle ou provenant d'une combustion comme les particules issues des moteurs diesel. Toutes les grandes familles de matériaux sont concernées (métaux, céramiques, carbonés, polymères, silicates, etc.). Ces nouveaux matériaux présentent des caractéristiques différentes par rapport aux mêmes matériaux à l'échelle macroscopique ou micrométrique. Il devient possible d'obtenir des matériaux apportant notamment des propriétés mécaniques, électriques, magnétiques, optiques ou catalytiques particulières.

De très nombreux secteurs industriels sont concernés par le développement de nanomatériaux pour de multiples applications dont certaines sont d'ores et déjà en phase de production industrielle. C'est le cas notamment des nanotubes de carbone, dont la structure est cent fois plus résistante et six fois plus légère que l'acier, ainsi que des nanoparticules de dioxyde de titane utilisées dans le secteur des cosmétiques, des nanoparticules de silice pour les pneumatiques ou encore la cérine comme additif de carburant. Les nanomatériaux peuvent être développés notamment pour apporter une fonction autonettoyante ou antiadhésive sur une surface, augmenter la dureté d'un matériau, améliorer la résistance au frottement, améliorer la qualité des textiles, etc. On remarque la présence de nanomatériaux dans les secteurs de l'environnement, de l'énergie, du textile, de la chimie, des cosmétiques, de la santé, de l'automobile, du bâtiment, etc.

Le développement et les niveaux de production des nanomatériaux manufacturés devant s'étendre et s'intensifier dans les prochaines années, la question de leur éventuel impact sanitaire se pose dès aujourd'hui.

II Toxicité des nanomatériaux pour l'homme

Peu de données sont actuellement disponibles sur la toxicité des nanomatériaux manufacturés, notamment à cause du faible nombre d'études menées à ce jour, d'un recul peu important sur cette nouvelle forme d'exposition et de la grande diversité des nanoparticules produites. Toutefois, des effets délétères ont été mesurés, notamment chez l'animal dans un cadre expérimental.

Outre les facteurs liés à l'exposition (voies d'exposition, importance et durée) et à l'organisme exposé (susceptibilité individuelle, interaction avec les composants biologiques, évolution dans l'organisme), des effets spécifiques aux nanoparticules liés à leurs propriétés physico-chimiques peuvent être mis en évidence. L'impact de ces propriétés physico-chimiques sur la toxicité est peu connu, néanmoins, les études disponibles permettent de relever un certain nombre de facteurs susceptibles d'être impliqués dans les effets toxicologiques des nanoparticules manufacturées : la taille, l'aire et la réactivité de surface, le nombre, la composition chimique, la forme, la solubilité, la capacité à former des agrégats ou des agglomérats, le traitement de surface et la structure, notamment.

Plusieurs voies d'exposition peuvent être distinguées pour l'étude de la toxicité des nanoparticules : l'inhalation, le contact cutané et l'ingestion. Les données disponibles à ce

jour montrent que certaines particules insolubles peuvent franchir les barrières de protection, se distribuer dans l'organisme et s'accumuler dans plusieurs organes, principalement suite à une exposition par inhalation ou par ingestion.

Les études disponibles concernent essentiellement les fullerènes, les nanotubes de carbone, ainsi que les nanoparticules inorganiques (dioxyde de titane, or colloïdal, sélénium, trioxyde d'arsenic, oxyde de zinc, zinc).

En ce qui concerne les fullerènes, on ne relève qu'une étude chez le rat montrant une toxicité par voie intrapéritonéale entraînant des dommages dans le rein mais pas de toxicité par voie orale.

Les études toxicologiques sur les nanotubes de carbone concernent essentiellement les nanotubes de carbone monofeuillet et montrent une toxicité respiratoire mais pas d'effet lors d'une exposition cutanée.

Les études toxicologiques portant sur les nanoparticules inorganiques montrent une toxicité par voie respiratoire en rapport avec la surface administrée et concernent principalement le dioxyde de titane. Il est intéressant de remarquer que certaines études montrent une diminution de la toxicité générale ou de la cytotoxicité de l'or colloïdal, du sélénium ou du trioxyde d'arsenic sous forme nanoparticulaire. Pour les aspects cutanés, les études faites sur le dioxyde de titane dans diverses formulations de filtres solaires ne montrent pas d'absorption au-delà du derme sur de la peau saine chez l'homme.

III Risques sanitaires des nanomatériaux

III.1 Détection des nanoparticules

La métrologie constitue une étape clé dans la connaissance et la maîtrise du risque lié aux nanoparticules. Elle doit permettre de caractériser un certain nombre de propriétés physiques et chimiques des nanoparticules. Ainsi, les outils métrologiques doivent permettre d'obtenir leur dénombrement, et préciser leurs propriétés morphologiques, chimiques (composition) et physico-chimiques (charge de surface).

La principale difficulté liée à la détection des nanoparticules dans l'air réside dans la distinction entre les particules d'origine naturelle et anthropique. Les méthodes de mesures ne permettant pas cette distinction réalisent des mesures dites « non spécifiques ». Dans le cas contraire, il s'agit de mesures « spécifiques ». Une troisième catégorie de méthodes réalise une détection indirecte par traçage (après marquage préalable des particules). Actuellement, il n'existe pas de technique polyvalente : il est généralement nécessaire d'utiliser plusieurs appareils en fonction du paramètre recherché. D'autre part, il existe peu de techniques disponibles sur le marché, la plupart restant « de laboratoire ». Enfin, toutes les techniques ne permettent pas de réaliser des mesures en temps réel. Ainsi, il n'existe pas à l'heure actuelle de techniques de mesure permettant de mesurer l'ensemble des paramètres pertinents et d'être utilisées en pratique de routine pour la surveillance des ambiances de travail. Elles nécessiteront d'être validées par des protocoles standardisés.

En ce qui concerne la détection des nanoparticules manufacturées dans les eaux, si les mesures en laboratoire ou au niveau de la production sont bien maîtrisées, les difficultés

restent importantes lorsqu'il s'agit de prélèvements dans le milieu naturel (distinction entre les particules naturelles et manufacturées), et notamment pour ce qui concerne l'échantillonnage.

La détection dans les sols se rapporte en partie à la métrologie dans les eaux, si ce n'est que l'hétérogénéité des nanoparticules dans le sol est bien plus importante, ce qui rend très difficile l'identification et la quantification de la contribution des nanoparticules manufacturées.

III.2 Risques sanitaires pour les travailleurs

Dès à présent et pour les prochaines années, l'exposition des travailleurs aux nanoparticules manufacturées se fera essentiellement au niveau des laboratoires de recherche, des industries de fabrication ainsi que des industries les utilisant dans leurs procédés de mise en œuvre. De nombreux secteurs sont concernés mais il est difficile de quantifier le nombre de travailleurs potentiellement exposés.

Le risque sanitaire dépend de la toxicité intrinsèque des nanoparticules et de l'exposition des individus.

La principale voie d'exposition est l'inhalation d'aérosols de nanoparticules dispersées dans les ambiances de travail. Le risque de dispersion dépend principalement du degré de confinement des nanoparticules lors du procédé de fabrication, de l'efficacité de la filtration et des systèmes de ventilation. Par ailleurs, les travaux de récupération des produits, de nettoyage et de maintenance des équipements, ainsi que les opérations d'emballage, de conditionnement et de stockage peuvent également conduire à des expositions des travailleurs. Si les quantités produites sont généralement peu importantes dans les laboratoires, ce n'est pas le cas dans les entreprises industrielles. Les phases de fabrication présentant le plus de risque d'émissions sont celles où les particules sont en suspension dans des gaz ou des liquides (dans le cas d'une dispersion de fines gouttelettes), sous forme individuelle. Lorsque les nanoparticules sont incluses dans un matériau, elles peuvent être dispersées dans l'air si le matériau est soumis à une usure et/ou une destruction (découpe ou ponçage par exemple). Le risque d'émission dans l'environnement de travail dépend ainsi fortement du procédé de fabrication. Par ailleurs, il faut prendre en compte le comportement des aérosols (dispersion, persistance, dépôt, remise en suspension, coagulation, etc.) qui influe de façon importante sur le niveau d'exposition.

Une exposition cutanée peut survenir notamment lors des opérations de récupération, de manipulation, d'emballage des produits, etc., mais aussi lors des opérations de maintenance des installations.

Par ailleurs, il est important de prendre en compte le risque d'explosion de nanoparticules d'origine organique ou minérale dans le cas de concentrations très élevées dans l'air en milieu confiné.

Les données d'exposition en milieu de travail sont très peu nombreuses. L'évaluation des expositions dans les laboratoires de recherche ou dans les nouvelles entreprises industrielles du secteur des nanomatériaux ne semble avoir fait l'objet d'aucune publication à ce jour.

Il n'existe pas actuellement de valeur limite d'exposition aux nanoparticules dans la législation française ou européenne ni d'études épidémiologiques publiées sur les populations de travailleurs exposées.

III.3 Risques sanitaires pour la population générale

Les sources d'exposition de la population générale sont potentiellement très nombreuses (produits cosmétiques, agroalimentaire ou textile, par exemple).

La population générale peut être exposée aux nanomatériaux de façon directe (cosmétiques, médicaments, emballages alimentaires, textiles, vêtements, etc.) ou indirecte suite à l'usure ou à la dégradation de nanomatériaux et donc à la libération de nanoparticules présentes dans des pneumatiques, encres, textiles, appareils électroniques, carburants, etc.

Les voies d'exposition potentielles sont l'inhalation, le contact cutané (notamment pour les cosmétiques), l'ingestion et la voie parentérale. Néanmoins, il n'existe pas encore de quantification de l'exposition de la population générale, ce qui ne permet pas d'évaluer le risque sanitaire correspondant.

Il n'existe pas de valeurs limites d'exposition pour la population générale quel que soit le milieu considéré, et il n'a été relevé aucune étude épidémiologique dans la littérature scientifique.

IV Toxicité des nanomatériaux pour l'environnement

Actuellement, peu de données sont disponibles concernant le comportement des nanomatériaux dans l'environnement. Les études existantes traitent principalement des fullerènes. Les nanoparticules peuvent être très facilement dispersées dans le milieu atmosphérique et ainsi parcourir de longues distances avant de se déposer. Dans le sol, le transfert des nanoparticules dépend à la fois des propriétés physiques du sol et des propriétés des nanoparticules elles-mêmes. Des nanoparticules peuvent se retrouver dans des eaux de surface, suite au ruissellement et au lessivage de sols contaminés, au dépôt de nanoparticules transportées par voie atmosphérique ou à un déversement accidentel, néanmoins leur persistance et leur mobilité sont variables. Actuellement, aucune information n'est disponible sur la capacité de dégradation des nanoparticules.

La toxicité des nanoparticules pour les organismes vivants peut être intrinsèque ou indirecte suite à la présence de polluants à leur surface ou dans leur structure. Toutefois, les propriétés des nanoparticules peuvent être modifiées en fonction des conditions environnementales. Il n'existe pas à ce jour de données sur la toxicité éventuelle des nanoparticules sur la flore. En ce qui concerne la faune, on ne relève que peu de données disponibles, qui se révèlent contradictoires.

V Conclusions

En conclusion, la question principale est de savoir si les nanoparticules manufacturées ont une toxicité particulière susceptible d'entraîner des impacts sanitaires. Pour répondre à cette question, il paraît indispensable de multiplier les études toxicologiques et de mesurer l'exposition des personnes, en particulier dans le milieu professionnel. C'est un préalable nécessaire à l'établissement d'une législation spécifique aux nanoparticules manufacturées. Il est ainsi important dans une première étape d'améliorer la connaissance des produits et de leur disponibilité. Il est préconisé à cette fin la création d'un observatoire décisionnel ayant un rôle de coordination pour assurer notamment la connaissance des produits et de l'ensemble des travaux toxicologiques et épidémiologiques réalisés dans ce domaine. Des mesures spécifiques doivent être prises pour évaluer l'efficacité des moyens de protection individuels et collectifs, connaître le comportement des aérosols et mesurer le relargage des nanoparticules après intégration dans une matrice.

Ainsi des mesures sont préconisées dans les domaines suivants :

- connaissance des nanoparticules et des nanomatériaux ;
- coordination de la recherche ;
- détection des nanoparticules ;
- toxicologie, épidémiologie, caractérisation des expositions humaines et évaluation des risques sanitaires ;
- moyens de protection individuels et collectifs ;
- normalisation et réglementation ;
- formation et information.