



Jacques
Bouillard



Contributeur

INERIS: acteur européen

dans la sécurité des nanotechnologies

Références

[1] Amodeo T., Dutouquet C., Le Bihan O., Attoui M., Frejafon E., 2009, *On-line determination of nanometric and sub-micrometric particle physicochemical characteristics using spectral imaging-aided Laser-Induced Breakdown Spectroscopy coupled with a Scanning Mobility Particle Sizer*, *Spectrochimica Acta Part B-Atomic Spectroscopy* 64, pp. 1141-1152.

[2] Amodeo T., Dutouquet C., Tenegal F., Guizard B., Maskrot H., Le Bihan O., Frejafon E., 2008, *On-line monitoring of composite nanoparticles synthesized in a pre-industrial laser pyrolysis reactor using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 63, pp. 1183-1190.

[3] Devilliers M., 2009-2012, Thesis in *Modélisation des nanoparticules*, école des Ponts et Chaussées, University Paris-Est Marne-la-Vallée, France.

[4] Henry F., 2010-2013, Thesis on *Thermodynamique des systèmes nano-dispersés: application au cas de l'agglomération de nanoparticules*, LSGC, Institut Polytechnique de Lorraine, France, Nancy.

[5] Vignes A., Fleury D., 2011, *Guide méthodologique: évaluation des risques accidentels aux postes de travail (Nano-Innov/Nano-Cert/DRA 95 IIIA)*.

[6] Bouillard J.-X., Vignes A., 2011, *A Risk evaluation method for nanoparticles via a control banding approach* – to be submitted.

Le plan national Nano-Innov, lancé en 2009, a consisté à structurer la recherche dans les nanotechnologies tout en s'efforçant d'assurer la sécurité des installations, des opérateurs ainsi que celle des produits manufacturés. Dans son sillage, le développement d'une métrologie spécifique des nano-objets est apparu comme préalable à toute étude de sécurité, d'analyse de risques et des recommandations qui en émanaient. Par le terme métrologie, on entend non seulement les moyens de mesure de la taille, de la concentration en particules à une taille donnée, de la signature chimique en volume et en surface, mais aussi des moyens de mesure des caractéristiques chimiques, réactionnelles, thermiques, électrostatiques qui sont susceptibles de générer un danger. Une fois ces particules caractérisées, des études plus spécifiques des effets toxicologiques et écotoxicologiques ou accidentels peuvent alors être menées. Ainsi, l'INERIS s'est engagé très tôt, *via* des projets nationaux et européens, dans les domaines de la détection et caractérisation, de l'expologie, des effets toxiques et écotoxicologiques, de l'incendie et de l'explosion, de la sécurité des procédés et de celle du travailleur et, récemment, dans le domaine des études socio-économiques. Par la suite, ces contributions seront détaillées en précisant le ou les projets européens auxquels ils se rapportent.

Métrologie: détection et caractérisation

En matière de métrologie, la détection et la mesure de concentration de nanoparticules dans l'atmosphère et dans les liquides (eau,

milieu biologique) présentent des difficultés nouvelles du fait de la taille des particules que l'on souhaite observer, qui font que les mesures traditionnelles ne sont plus applicables. Plusieurs nouvelles techniques sont étudiées dans les projets européens. L'un des premiers types de mesures par LIBS (*Laser induced breakdown spectroscopy*) a été proposé par l'INERIS dans NANOSAFE2 comme méthode d'analyse dans l'air de la signature chimique des nanoparticules pour le cas de surveillance des ambiances au travail ainsi que pour le cas de contrôle, régulation et sécurisation de procédés de production [1, 2].

L'un des facteurs spécifiques aux nanoparticules, influençant les dangers chroniques ou accidentels, résulte de leur capacité à s'agglomérer, et à se comporter rapidement comme une micropoudre. Deux thèses de doctorat en cours, une sur la thermodynamique des systèmes nanodispersés, l'autre sur la modélisation des nanoparticules dans l'air, viendront consolider les projets européens et permettront de mieux comprendre les phénomènes d'agglomération et de condensation liés aux nano-objets [3, 4].

Risques liés à l'intensification des procédés par les nanotechnologies

L'intensification des procédés par l'utilisation des nanotechnologies vise à produire les composés chimiques de façon plus sûre, plus propre et plus efficiente par des systèmes de production beaucoup plus intégrés et réduits. Dans le cadre du projet DEMCAMER (www.cordis.europa.eu), les procédés de production d'hydrogène sont réduits de sept à deux étapes en utilisant une technologie de réacteurs membranaires nanostructurés, pour laquelle l'INERIS évaluera la sécurité du procédé intensifié et ses impacts socio-économiques.

Analyse des risques au poste de travail

Dans les projets NANOSAFE2 (www.nanosafe.org) et SAPHIR (www.saphir.fr), l'INERIS a développé une méthodologie d'analyse de risques au poste de travail basé sur le *control banding* (figure 1), une façon de positionner le risque en considérant que le danger toxique ou d'explosion

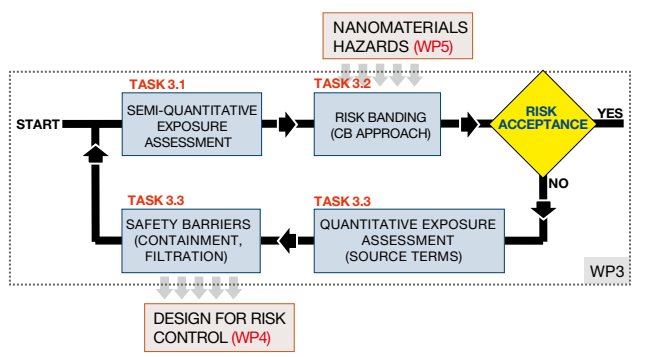


Figure 1

Principe de l'évaluation des risques au poste de travail d'un procédé industriel par la méthodologie du Control Banding.

du produit considéré tient dans une bande d'incertitude du danger et non plus par une quantification exacte d'un danger [5, 6]. Cette approche, qui permet de préconiser rapidement le type de barrières de sécurité à mettre en œuvre (filtration, réduction des atmosphères explosives...), a été testée sur plusieurs ateliers de fabrication.

Toxicologie et écotoxicologie

Le projet NANOSAFE2 a visé à développer et à valider des tests de toxicité pulmonaire *in vitro*. Il s'agissait de déterminer la cytotoxicité (capacité à provoquer des altérations cellulaires et mort des cellules) de différents types de nanomatériaux (nanoparticules de silice, d'argent, de titane ainsi que les noirs et nanotubes de carbone) [7, 8]. Il a été montré que certaines nanoparticules (par exemple, l'argent, le cuivre ou le zinc) avaient un pouvoir biocide et donc une cytotoxicité importante. Pour mieux comprendre les phénomènes de transport transmembranaire (air-sang), des modèles de barrière alvéolo-capillaire pulmonaire en coculture de cellules épithéliales humaines sont construits et testés dans le cadre du nouveau projet QNANO (www.qnano.ri-eu) [9]. L'évaluation des performances de ce type de barrière est l'un des éléments importants de l'arsenal des méthodes alternatives *in vitro* mises en place au niveau européen pour répondre à l'identification des conditions de translocation ou biodistribution de nanoparticules vers d'autres organes.

Analyse des impacts socio-économiques des nanotechnologies via l'analyse du cycle de vie

L'objectif de ce type d'analyse est d'évaluer les coûts et bénéfices sociétaux liés à l'exploitation d'une technologie ou d'un nouveau produit, ce qui est exigé dans le cas de l'enregistrement réglementaire de nouvelles substances (REACH 1907/2006). Les gains et bénéfices socio-économiques d'un produit ou d'une technologie sont évalués en termes financiers et de bien-être sociétal (impacts sociétaux: nombre et type d'emplois créés ou maintenus, qualité des emplois, développement économique, qualité de

vie...) tout en considérant les impacts sanitaires et environnementaux. En se basant sur les résultats de l'analyse du cycle de vie (ACV), du retour d'expérience issu de la littérature et de la prise en compte des critères de développement durable, les impacts socio-économiques d'un produit ou d'une technologie peuvent ainsi être analysés en supposant plusieurs scénarios d'utilisation de la technologie considérée [10].

CONCLUSION

En ayant construit sa recherche et ses réponses aux projets européens sur le schéma d'activités décrites précédemment, l'INERIS a ainsi bâti au fil du temps, dans le domaine de la nanosécurité, une gamme de compétences techniques en recherche, expertise, certification et formation. Pour consolider cet atout, de nouveaux investissements sont prévus, à savoir une construction d'une halle nanosécurisée qui permettra de développer et tester de nouveaux essais en sécurité industrielle, essais qui viendront compléter ceux réalisés dans la plateforme expérimentale pour la validation et le développement de méthodes alternatives en expérimentation animale pour les tests de toxicité par d'inhalation. Ces investissements permettront à l'INERIS de consolider ses atouts et de rester un acteur européen clé dans ce domaine.

Références

- [7] Elgrabli D., Abella-Gallart S., Robidel F., Rogerieux F., Boczkowski J., Lacroix G., 2008, *Induction of apoptosis and absence of inflammation in rat lung after intratracheal instillation of multiwalled carbon nanotubes*, Toxicology 253, pp. 131-136.
- [8] Rogerieux F., Maillot-Maréchal E., Moisan F., Robidel F., Elgrabli D., Delalain P., Lacroix G., 2007, *Time course of TiO₂ and carbon black nanoparticles induced pulmonary inflammation in rats*, Toxicology Letters 172, S122.
- [9] Dekali S., Gamez C., Rogerieux F., Rat P., Lacroix G., *Characterization of a new coculture model of alveolo-capillary barrier developed to study the translocation and the toxicity of nanoparticles*, Toxicology Letters 205, 2011, S156.
- [10] Affeltranger B., Brignon J.-M., 2011, *Socio-Economic Analysis (SEA), Safety Issues and Risks of nanotechnologies for Society*, Barcelona.

ABSTRACT

Nanoparticles are synonymous of properties and functionalities that are very different from those of bulk materials. These nano-objects are coming today to a status of industrial commercialization, by which they can REACH all industrial sectors (cosmetics, plastics, concretes, alloys...), because new composites based on these nanoobjects can display exceptional electrical, mechanical, chemical or optical properties. Since 2005, the EU has encouraged member states to develop their competences and skills in these new materials, so as to be able to produce and commercialize them in a safe way. INERIS has successfully taken this opportunity, by responding to these calls and by collaborating with EU partners in various EU projects by offering its unique competences and skills in management of environmental and industrial risks, considered as key factors in the development of these technologies.