

DOSSIER

Éditorial de Nathalie
Kosciusko-Morizet
P. 8

DÉVELOPPEMENTS

NaTech : faire face
aux événements
extrêmes P. 18

DÉBAT

Le Grenelle de
l'environnement
par Philippe Hubert P. 20

INERIS

LE MAGAZINE DE L'INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

Dossier p. 7

LES NANOMATÉRIAUX sous haute surveillance



Le Grenelle de l'environnement vient de s'achever ; pour l'INERIS, la mobilisation doit se poursuivre sans fléchir, afin de mettre en place rapidement les mesures qui permettront de répondre à l'urgence écologique. L'une des réussites du « Grenelle » est sans conteste d'avoir placé au cœur des débats le dialogue et la concertation entre toutes les parties prenantes (ONG, syndicats, patronat, État, collectivités territoriales, experts, chercheurs...). Ainsi, en favorisant la responsabilisation des acteurs et en créant les conditions d'échanges et de confrontation - parfois entre des intérêts contradictoires -, le « Grenelle » a permis de mieux appréhender les enjeux et surtout de définir des objectifs partagés. La participation active des ONG dans les processus de réflexion et d'arbitrage traduit la réalité d'un changement qui s'opère aujourd'hui dans les modes de décision publique, et permet ainsi de progresser dans la démocratie participative. Cette démarche est déjà mise en œuvre au sein du Conseil d'administration de l'INERIS, qui a la responsabilité de définir les programmes de travail de l'Institut, et où siègent des représentants des ONG et associations de consommateurs. L'ouverture à la sphère civile exige également, en amont, un effort important de sensibilisation et d'information. Cela est indispensable, non seulement pour donner à chacun les moyens d'aborder la variété et la complexité des sujets liés au développement durable, mais aussi pour créer les conditions favorables à l'instauration d'un climat de confiance. Cette priorité est inscrite dans le Contrat d'objectifs 2006-2010 de l'INERIS, afin que nos chercheurs et experts renforcent leur capacité à transmettre les connaissances acquises et prennent davantage part aux débats. C'est pourquoi, l'INERIS a initié des réunions d'échanges avec des ONG et des associations de consommateurs autour de présentations de rapports scientifiques ou techniques. Cette nouvelle formule du Magazine, et son dossier consacré aux nanomatériaux, illustre également cette volonté de mettre à la portée du plus grand nombre les résultats de nos travaux de recherche.

Vincent Laflèche
Directeur général adjoint

Partenariat renouvelé avec l'Andra

L'INERIS et l'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) ont signé en septembre dernier un nouvel accord de partenariat pour les trois années à venir. Cet accord intervient au moment où d'importantes actions de recherche et développement vont être déployées afin de répondre à la Loi de programme du 28 juin

2006 qui prévoit pour les dix prochaines années la mise en service de nouveaux centres de stockage et d'entreposage des matières et déchets radioactifs. La collaboration précédente des deux établissements avait principalement concerné le domaine de la mécanique des roches. Elle se poursuit et s'élargit à l'analyse des risques pour tous les sites en exploitation ou en projet de l'Agence.



© Graphix Image

La convention a été structurée autour de quatre axes principaux : le comportement thermo-hydro-mécanique des ouvrages souterrains ; l'analyse et l'évaluation des risques liés à l'activité de stockage et d'entreposage ; la surveillance, la fiabilité et la mise aux normes des installations ; l'évaluation des risques liés à la toxicité des produits et l'impact des installations sur l'environnement et la santé.

Une politique doctorale plus ambitieuse

L'INERIS finance en permanence une cinquantaine de thèses de doctorat sur des thématiques correspondant à ses programmes de recherche et dont les priorités scientifiques sont clairement énoncées dans son Contrat d'objectifs 2006-2010. Les doctorants travaillent, pour un tiers, au sein même des laboratoires et unités de l'Institut et, pour les deux tiers, dans les laboratoires universitaires partenaires.

L'INERIS s'est engagé dans la mise en place, dès 2008, d'une nouvelle procédure de gestion des thèses. La mesure principale porte sur les modalités de recrutement des doctorants. Afin de se

caler au mieux sur le calendrier annuel des écoles doctorales et de recueillir le plus grand nombre de candidatures pour un sujet de thèse donné, l'INERIS prépare la publication, en janvier 2008, d'un appel à candidatures. Celui-ci proposera une quinzaine de sujets de thèses dont la mise en place effective se fera à l'automne 2008. D'autres actions concernent l'amélioration des conditions d'accueil et d'insertion à travers notamment l'instauration d'un statut unique du doctorant et la création d'un forum « Thésards » sur le serveur www.ineris.fr.



Georges Labroye,

Directeur général de l'INERIS, a quitté ses fonctions le 31 octobre 2007 pour faire valoir ses droits à la retraite. Entré à l'INERIS en 1993, au poste de Directeur général adjoint, il se voit confier la Direction générale de l'Institut en février 1997. Sous sa direction, l'INERIS a connu des développements majeurs qui ont conduit notamment à un accroissement de la recherche et de l'expertise au meilleur niveau, faisant de la pluridisciplinarité de l'Institut et de sa capacité à fournir un appui opérationnel un de ses traits forts. Durant cette période, l'INERIS a également renforcé sa contribution à l'Europe de la recherche et développé ses activités de transfert et de valorisation auprès des entreprises qui lui confèrent aujourd'hui un statut reconnu de facilitateur sur le chemin du développement durable.



Colloque 60 ans en Picardie



Plus d'une centaine de personnes ont assisté, le 16 octobre 2007, au colloque « **Recherche, maîtrise des risques et développement économique régional** » organisé par l'INERIS, avec le soutien de la région Picardie. La matinée s'est déroulée autour de présentations qui ont porté sur la spécificité de la recherche à l'INERIS, les avancées scientifiques marquantes produites par

l'Institut, l'intérêt de la simulation pour la maîtrise des risques, les risques liés aux substances chimiques, les risques liés aux installations et aux procédés. L'après-midi a été consacré à une table ronde sur le thème : Quels sont les atouts et la contribution au développement économique d'un pôle d'excellence en recherche sur la maîtrise des risques en Picardie.

Cette table ronde a permis d'instaurer des échanges entre les intervenants et le public représentant divers organismes ou institutions (Services de l'État, élus, universités, centres de recherche, pôles d'expertise, industrie). Les débats ont mis l'accent sur la nécessaire mobilisation autour des enjeux du règlement REACH, l'existence d'une dynamique régionale grâce à la présence de nombreux pôles de recherche qui soutiennent des projets d'envergure internationale (dont 2 pôles de compétitivité à vocation mondiale), le besoin de développer les synergies entre les équipes autour de projets de recherche communs mais aussi de nouvelles structures à l'image de CERTES ou d'ANIMEX. Enfin, l'importance d'accroître la création de valeurs à partir de la recherche a également été soulignée, afin de maintenir un haut niveau d'innovation, facteur clé de compétitivité.

Par ailleurs, l'exposition « L'environnement sous surveillance », réalisée à l'occasion du soixantième anniversaire de l'implantation du site INERIS en Picardie était également présentée.

Les documents relatifs au colloque sont disponibles sur le site www.ineris.fr.

Colloque PRIMEQUAL

L'INERIS, le MEDAD et l'Ademe, ont organisé les 2 et 3 octobre 2007, à Rouen, un colloque de restitution des travaux menés dans le cadre de l'Appel à Propositions de Recherche « particules » du programme PRIMEQUAL-PREDIT (APR 2003). Outre le point sur les avancées scientifiques, de nouveaux outils méthodologiques et métrologiques ont été présentés qui permettront notamment de mieux appréhender les processus de formation et transformation des particules, les différentes sources biotiques et anthropiques dont elles sont issues et de mesurer leur impact sur les fonctions vitales de l'être humain, sur le bâti et les milieux naturels. Réunissant près de 180 participants, scientifiques mais aussi praticiens de l'action publique, ce colloque a également montré la capacité du programme PRIMEQUAL-PREDIT à mobiliser des équipes de recherche françaises afin de fournir les bases scientifiques et les outils utiles aux décideurs et aux gestionnaires de l'environnement.

Nominations



Dominique Charpentier, directeur adjoint de la Certification, a été nommé au Conseil d'Administration de l'UTE (Union Technique de l'Electricité/Comité Electrotechnique Français).

Organisme national de normalisation électrique des matériels, des installations et des services, l'UTE participe activement aux travaux internationaux (CEI) et européens (CENELEC) et élabore les positions françaises auprès de ces instances.



Laurence Rouil, responsable de l'Unité « modélisation et analyse économique pour la gestion des risques » de l'INERIS, a été nommée Présidente de la Task Force « Measurement and Modelling » qui constitue l'un

des trois groupes de travail du programme EMEP. Cet engagement permet de contribuer à l'orientation des travaux de surveillance et d'évaluation de la pollution atmosphérique transfrontière tels que menés dans le cadre de l'EMEP dont l'INERIS assure, par ailleurs, la vice-présidence depuis fin 2005.

Plusieurs nominations sont intervenues récemment au sein de l'INERIS.



Yann Macé,
Directeur des Risques
Accidentels



Bruno Faucher,
Directeur de la Valorisation
et du Marketing et Directeur
de INERIS formation SAS

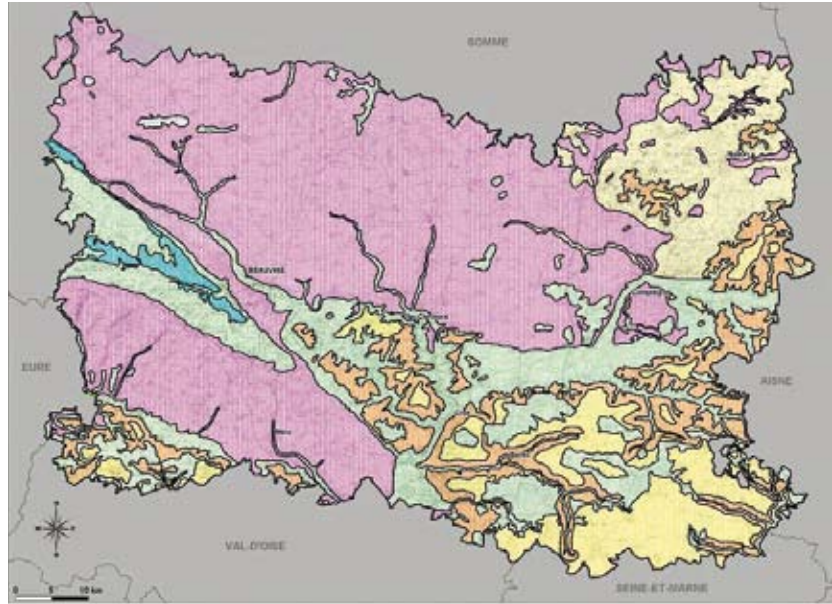


Élisabeth Caron,
Directrice
des Ressources Humaines

En savoir plus sur www.ineris.fr

Un Atlas

pour prévenir les risques naturels dans l'Oise



- Aléa nul à négligeable pour toutes configurations
- Aléa effondrement en masse et localisé fort
- Aléa effondrement en masse et localisé moyen
- Aléa effondrement en masse et localisé moyen
- Aléa effondrement en masse et localisé moyen lié aux nappes de guerre
- Aléa affaissement et effondrement localisé faible
- Aléa effondrement localisé fort et en masse faible

En 2001, de fortes intempéries avaient douloureusement affecté le département de l'Oise qui avait dû faire face à des crues, des remontées de nappe ou encore des mouvements de terrain. Afin de mieux anticiper de telles situations, la Préfecture et la DDE ont décidé de se doter d'un Atlas des risques naturels majeurs (ARNM), réalisé avec l'aide de l'INERIS et du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) et le soutien financier du Conseil général de l'Oise. Présenté en septembre dernier après deux ans de développement, ce document recense

l'ensemble des aléas naturels susceptibles de toucher le département et propose l'ébauche d'un « plan départemental d'actions » à mener par l'État dans divers domaines tels que l'information, la prévision, la prévention ou encore la gestion des risques. Il contient de nombreuses cartes réalisées sous Système d'information géographique (SIG), autant d'informations qui pourront être utilisées dans les propres SIG de la préfecture et de la DDE. L'atlas servira désormais de base à la constitution des futurs documents administratifs et d'urbanisme (DDRM, DICRIM, SDACR, PLU, etc.).

Compatibilité électromagnétique

L'INERIS a été désigné en tant qu'organisme notifié pour intervenir dans l'évaluation de la conformité aux exigences de la nouvelle Directive CEM 2004/108/CE. Entrée en application en juillet 2007, cette dernière remplacera définitivement la directive CEM 89/336/CEE en juillet 2009. Elle conserve le même objectif : garantir la libre circulation des équipements électriques au sein de l'UE tout en limitant les risques d'interférences des appareils électriques et électroniques.



REACH, un film pour savoir l'essentiel

Du nouveau au catalogue « Les essentiels de l'INERIS » avec un nouveau film pédagogique consacré au règlement européen REACH. Conçu par l'INERIS, ce film, d'une durée de 14 minutes, répond aux questions majeures posées par la mise en place de REACH. Quels sont ses objectifs et quels problèmes cherche-t-on à résoudre ? Qui est concerné ? Quelles substances sont-elles en cause ? Quelles informations seront-elles rendues disponibles par REACH et comment ces informations sont-elles obtenues ?

Le film s'adresse aux fabricants, importateurs et utilisateurs de substances chimiques et a pour objectif de les aider à décliner leur démarche REACH auprès de leur personnel et de leurs partenaires. Il s'adresse aussi aux bureaux d'études, sociétés de conseil et organismes de formation qui souhaitent accompagner leurs clients dans la mise en œuvre de REACH. Il vise aussi les associations de consommateurs et de protection de l'environnement, soucieuses d'expliquer à leurs adhérents en quoi REACH va améliorer la sécurité chimique de tous.

Disponible en CD-ROM.

Pour commander et en savoir plus sur les vidéos de la collection « Les essentiels de l'INERIS » : Olivier Peron – Tél. 03 44 55 65 81 - olivier.peron@ineris.fr ou www.ineris.fr, menu INERIS formation, rubrique outils pédagogiques.

Un système expert pour répondre à REACH

Piloté par l'INERIS et la société française Scienomics, le consortium Dedicates* démarra en janvier 2008. Destiné à satisfaire aux critères de REACH, le règlement européen sur les produits chimiques, ce grand projet fournira à terme un système expert capable d'évaluer leur dangerosité et leur risque toxique. Véritable outil d'aide à la décision pour les R&D des industries chimiques, pétrochimiques, cosmétologiques et pharmaceutiques, Dedicates permettra, pour chaque substance, de déterminer le besoin et la nature des tests à effectuer en priorité, dans l'optique de diminuer les coûts de développement et les risques. Les objectifs de ce projet ont donné lieu à une présentation, le 2 octobre dernier à Paris, devant les représentants d'une quinzaine d'entreprises françaises et européennes du secteur de la chimie. Par ailleurs, le 19 juillet 2007, l'Agence Nationale de la Recherche a donné son feu vert au programme Canto**, la première étape du projet.

* Decision Driven Intelligent Chemical Analysis Testing Strategies
** Intégration de méthodes d'analyse décisionnelle et de chimie prédictive pour l'évaluation de la toxicité

Ardevie Étape franchie

C'est pour faire face à l'enjeu majeur de la valorisation des déchets qu'a été créé le centre d'expertise Ardevie, inauguré le 14 septembre dernier sur le site de l'Europôle Méditerranéen de l'Arbois tout près de Marseille. Piloté par l'INERIS en collaboration avec le CEREGE (Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement), unité mixte de recherche de l'Université Paul Cézanne d'Aix-Marseille et du CNRS, cette nouvelle structure de recherche et développement a été spécialement conçue pour répondre au besoin d'encadrement de plus en plus rigoureux des différentes pratiques dans le domaine des déchets. Une valorisation « durable » des matières premières secondaires que peuvent constituer certains gisements de déchets sera favorisée par l'économie des ressources naturelles et l'allègement des coûts de traitement. Parmi les axes de développement figurent la mise au point de nouveaux matériaux à base de ces matières premières secondaires, l'amélioration des caractéristiques des granulats par adjonction de sous-



produits industriels, ou encore le développement de modèles de prédiction du comportement environnemental de ces matériaux. À noter que la valorisation des déchets constitue un enjeu économique colossal : rapporté au coût moyen de traitement de la tonne, les seuls déchets industriels potentiellement valorisables représentent un volume évalué à 20 milliards d'euros par an.

Parutions

Guide interactif d'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers

Établi sous l'égide du ministère chargé de l'Industrie, cet ouvrage est le résultat du travail de différents organismes impliqués dans l'évaluation des risques liés à l'après-mine (INERIS, GEODERIS, École des Mines de Paris, BRGM, CSTB). Outre la présentation de la démarche PPRM, il détaille les principes techniques et réglementaires qui gouvernent l'élaboration des différentes phases (aléas, enjeux, zonage réglementaire...). *Le guide est accessible sur*

<http://www.ineris.fr/guide-pprm>

Catalogue Formations 2008

Une cinquantaine de stages inter-entreprises sont proposés dans les domaines des risques accidentels, chroniques et du management des risques. Parmi les nouveautés, le « parcours consultant REACH », qui englobe plusieurs modules thématiques : le cadre réglementaire, les substances et leurs dangers, le management des risques et l'évaluation et l'enregistrement des substances.

Contact : Madeleine Chaulet au 03 44 55 65 01 ou madeleine.chaulet@ineris.fr

Rapport Scientifique 2006-2007

Ce rapport présente quelques-uns des résultats de recherche les plus significatifs ainsi que les orientations scientifiques de l'Institut. Il est disponible en téléchargement sur le site Internet www.ineris.fr ou sur demande auprès de la Direction de la Communication au 03 44 55 64 37.



ANR 2007 Nombreux succès pour l'INERIS

L'Agence Nationale de la Recherche (ANR) a lancé, depuis mai 2005, des appels à projets, organisés en programmes thématiques, qui visent à apporter une aide financière à des projets de recherche. Ces projets font l'objet d'une évaluation par des experts nationaux et internationaux avant d'être sélectionnés pour financement par un Comité de pilotage (ou stratégique) au sein duquel sont présents des industriels notamment. Au cours de l'année 2007, l'INERIS a soumis à l'ANR 39 propositions en partenariat dont 15 ont été retenues à ce stade de la sélection, soit un taux de réussite de 38,5 %, en constante progression depuis 2005. Le nombre et la diversité des thématiques dans lesquelles les équipes de l'INERIS sont impliquées illustrent la pluridisciplinarité des compétences de l'Institut et la qualité des propositions faites par ses chercheurs : physique et chimie du vivant (1 programme

sélectionné), captage et stockage du CO₂ (2), technologies de l'hydrogène (2), génie civil et urbain (1), écotechnologies et développement durable (2), bioénergies (1), nanosciences et nanotechnologies (2), chimie et procédés pour le développement durable (2), concepts, systèmes et outils pour la sécurité globale (1), technologies logicielles (1).

En cumulant les projets sélectionnés par l'ANR en 2005, 2006 et 2007, l'INERIS totalise 35 participations à des programmes de recherche dont 9 en tant que coordinateur. La plupart d'entre eux attachent une importance particulière au développement de partenariats recherche/industrie et à la stimulation de l'innovation dans une logique de développement durable.

La liste complète des programmes financés par l'ANR est consultable sur le site internet www.ineris.fr

ou www.agence-nationale-recherche.fr

Agenda

« Du bon usage des modèles et de la mesure dans les études d'impact et la gestion des sites et sols pollués », journée organisée par l'INERIS le mardi 4 décembre 2007, à Paris, pour restituer les travaux réalisés dans le cadre des programmes d'appui au ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables.

SEPEM-industries à Douai (Gayant Expo), du 21 au 24 janvier 2008, salon dédié aux Services, Équipements, Process et Maintenance pour les industries.
En savoir plus : <http://www.sepem-industries.com>

Colloque international **APRÈS-MINE 2008**, organisé par le GISOS et l'International Mine Water Association (IMWA), du 6 au 8 février 2008 à Nancy. La dernière journée est réservée aux visites techniques.
En savoir plus : <http://gisos.ensg.inpl-nancy.fr>

Salon Industrie Paris 2008, du 31 mars au 4 avril 2008, Paris-Nord Villepinte. Présence de l'INERIS sur le Village Mecaspère « service aux entreprises », réalisé avec le concours de la Fédération des Industries Mécaniques (FIM).
En savoir plus : <http://www.industrie-expo.com>



DOSSIER

LES NANOMATÉRIAUX

SOUS HAUTE SURVEILLANCE

SOMMAIRE

- ▶ Éditorial | Page 8
- ▶ Focus : Jacques Bouillard, Unité Procédés | Page 9
- ▶ Focus : Ghislaine Lacroix, Unité Toxicologie expérimentale | Page 11
- ▶ Entretien avec le Dr Éric Gaffet, CNRS | Page 12
- ▶ Focus : Éric Thybaud, Responsable de l'Unité Évaluation des risques écotoxicologiques | Page 13
- ▶ Focus : Olivier Le Bihan, Unité Qualité de l'air | Page 15
- ▶ Le débat est ouvert | Page 16

NANOMATÉRIAUX : SAVOIR ET PARTAGER LE SAVOIR, POUR PRÉVENIR LES RISQUES

(Amaud PERRIN)



Les nanomatériaux ouvrent indubitablement des perspectives, déjà inscrites dans la réalité pour nombre d'entre elles, extrêmement prometteuses pour de multiples applications et secteurs d'activités. La prise en compte de leurs risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement est, dans ce cadre, fondamentale.

En effet, bien qu'encore fragmentaires, les connaissances scientifiques montrent que les nanoparticules sont susceptibles d'avoir des effets pathogènes, y compris pour des molécules considérées usuellement comme sans nocivité particulière. Se poser la question de ces risques est d'ailleurs des plus logiques : si des propriétés physiques changent et deviennent intéressantes pour divers usages, qu'y aurait-il d'étonnant à ce que des effets moins désirables apparaissent par ailleurs ? Sans dramatiser les risques il convient de les évaluer rationnellement, de manière systématique, et de les prévenir par des mesures appropriées.

Ce n'est pas une attitude frileuse qui s'opposerait au développement de technologies d'avenir bien au contraire, c'est la condition même de leur développement. Sans connaissances avérées, sans gestion pertinente des risques, sans transparence et sans débat public on peut craindre une suspicion généralisée, *in fine* néfaste au développement de ces technologies. Les milieux économiques et scientifiques en deviennent à mon avis largement persuadés.

Le gouvernement, le ministère chargé de l'Écologie et ceux chargés de la Santé et du Travail étant en première ligne, ont déjà pris en compte cet enjeu. Ainsi l'AFSSET, Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, avait été saisie par les trois ministères et avait rendu un rapport et un avis en juillet 2006, synthétisant les connaissances disponibles sur cette question et formulant diverses propositions sur la connaissance des nanomatériaux, leur prise en compte réglementaire, le suivi des personnes exposées ou la diffusion de l'information. Les trois ministères ont demandé à l'AFSSET de poursuivre ses travaux et d'effectuer une expertise approfondie sur la prévention des risques sanitaires liés aux nanoparticules et nanomatériaux manufacturés en milieu de travail. Pour améliorer les connaissances scientifiques, l'État, au travers de financements de l'Agence Nationale de la Recherche et du ministère de l'Écologie soutient plusieurs programmes de recherche qui abordent des questions aussi fondamentales et diverses que le comportement des particules dans le tissu vivant, leur métrologie, l'écotoxicité de certaines particules, les risques accidentels (explosion) etc... L'Union européenne étant elle aussi très présente sur cet enjeu.

Les récents travaux du Grenelle de l'environnement ont montré, et je m'en réjouis, une convergence forte de l'ensemble des parties prenantes sur les actions à conduire. Il a ainsi été décidé de demander à la Commission Nationale du Débat Public d'organiser en 2008 un débat public sur les impacts des nanoparticules et nanomatériaux. Une déclaration obligatoire aux pouvoirs publics de la présence de nanoparticules dans les produits grand public sera instaurée dès 2008, ainsi que la réalisation de bilan coûts/avantages systématiques de la mise sur le marché de produits contenant des nanoparticules ou nanomatériaux. À partir des résultats des études en cours, en particulier de l'AFSSET, des dispositions seront prises pour renforcer l'information et la protection des salariés.

Il convient désormais de mettre en œuvre ces décisions de principe fortes. Pour cela, la progression des connaissances scientifiques est un impératif. Je veillerai à ce que le renforcement des moyens de recherche consacrés au thème Santé - Environnement, acté dans le cadre du Grenelle de l'environnement, intègre pleinement la thématique des nanomatériaux. Au-delà de recherches spécifiques sur leur impact, par exemple pour élaborer des tests de toxicité adaptés, il faudra aussi que les programmes de recherche-développement publics et privés visant à développer de nouvelles nanoparticules intègrent au cœur même de cette R et D l'analyse des impacts et risques potentiels et des voies pour les prévenir. Changeons de paradigme en étudiant la question le plus en amont possible !

Dans ce contexte l'INERIS, établissement public placé sous tutelle du ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables, est appelé à jouer un rôle de premier plan, que ce soit par l'implication de ses équipes dans les programmes de recherche, ou par son rôle d'appui au ministère dans la définition et la conduite des politiques publiques. Dans le cadre du budget 2008 la progression du budget alloué à l'INERIS permettra d'ailleurs d'augmenter de plus de 300 k€ l'effort de l'Institut dans ce domaine, signe de la priorité que nous accordons à ce sujet. Au-delà des productions de connaissances, je souhaite aussi que l'INERIS contribue activement au débat public qui sera lancé en 2008.

Nathalie Kosciusko-Morizet
Secrétaire d'État chargée de l'Écologie

« Il est essentiel pour le développement des nanotechnologies qu'elles soient socialement acceptées. » Extraite d'un rapport de la Commission européenne⁽¹⁾, cette phrase résume les deux volets de ce que certains appellent déjà la révolution industrielle du XXI^e siècle : des technologies porteuses de progrès et d'espoirs, mais des technologies génératrices de fortes inquiétudes sur leurs implications sanitaires, environnementales, éthiques, dans un contexte social marqué par l'expérience de l'amiante et les controverses sur les OGM.

Si le grand public, encore peu informé et sensibilisé n'y participe pas, le débat sur les bénéfices et les risques des nanotechnologies retient l'attention des acteurs professionnels - industriels, chercheurs, institutionnels -, des autorités nationales et européennes, et des organisations écologiques. En France, comme dans de nombreux pays, il a permis d'établir un consensus sur la nécessité de développer rapidement des connaissances scientifiques relatives à la sécurité des nanomatériaux manufacturés.

Apparues dans l'industrie de la micro-électronique, théâtre d'une course à la miniaturisation depuis une trentaine d'années, les nanotechnologies ne cessent d'étendre leurs champs d'application. La dimension nanométrique (un nanomètre représente un milliardième de mètre) confère en effet à la matière des propriétés physico-chimiques singulières, différentes des échelles supérieures. Inerte et de couleur jaune, l'or par exemple devient rouge et se comporte comme un catalyseur lorsqu'il est réduit à l'état de particules nanométriques inférieures à 3 nm. Sous la forme de nanotubes dix mille fois plus fins qu'un cheveu, le carbone devient 100 fois plus résistant et 600 fois plus léger que l'acier. Des matériaux réputés isolants se transforment en conducteurs d'électricité...

500 produits de consommation courante

Ces propriétés originales permettent de donner aux matériaux existants des fonctions nouvelles ou de combiner des fonctions que l'on croyait incompatibles. Plusieurs secteurs industriels utilisent déjà des nanoparticules ou des nanomatériaux : la cosmétologie, la micro-électronique, les producteurs de matériaux composites et de béton, les constructeurs d'automobiles (un véhicule comprend en moyenne dix kilos de nanoparticules incluses dans la peinture, les matières plastiques, les pneumatiques, le système d'échappement

| SUITE PAGE 10 |



Préparation de nanomatériaux
dans une boîte à gants
avec protection individuelle.

Jacques Bouillard, Unité Procédés

« PLUS LE MATÉRIAU EST NANOSTRUCTURÉ, PLUS IL EST SENSIBLE À LA COMBUSTION ET À L'EXPLOSION »



Outre l'impact d'une exposition chronique sur la santé humaine et l'environnement, les nanoparticules soulèvent un questionnement grandissant sur les risques et les conséquences d'un accident dans le cadre du processus de fabrication et des installations de stockage. Nos expériences d'inflammabilité et d'explosivité montrent que deux cas de figure peuvent se présenter. Si les particules nanométriques s'agglomèrent, leur comportement est assimilable à des particules micrométriques pour lesquelles nous disposons d'outils pertinents d'analyse de risques et de prévention. En revanche, et comme l'ont entrepris nos collègues toxicologues, il va falloir étudier une métrologie, une instrumentation de caractérisation des risques, des dispositifs de prévention, des normes et une réglementation qui soient propres aux propriétés physico-chimiques singulières des particules de dimension nanométrique. Au-delà

du risque, il nous faut également travailler sur le comportement et la caractérisation des produits de combustion consécutifs à une explosion accidentelle de nanopoudres. Ces études ont été engagées fin 2005 dans le cadre des programmes NanoSafe2 (6^e PCRDT) et NANORIS, en collaboration avec le Laboratoire des Sciences du Génie chimique de Nancy. Elles prennent en compte des particules choisies pour leur importance industrielle et stratégique : noir de carbone, nanotubes de carbone, nanoparticules d'aluminium. Les essais de caractérisation de la réactivité des nanoparticules ont notamment montré que plus le matériau est nanostructuré, plus il est sensible à la combustion et à l'explosion.

| OBJECTIF : CRÉER ET STABILISER DES NUAGES DE NANOPARTICULES DANS L'AIR |

On peut penser que les connaissances disponibles pourront être transposées, à condition cependant de vérifier que les régimes de propagation sont comparables et d'être capable d'en mesurer les caractéristiques.

La libération de l'énergie de combustion est réalisée par une flamme qui se propage dans le nuage. Cette flamme opère à la fois la combustion et l'inflammation des réactifs sous l'effet du transfert de chaleur par conduction depuis la zone de combustion vive. On peut imaginer que le comportement des nuages de poussières de plus en plus fines doit se rapprocher de plus en plus de celui des nuages de gaz. Cependant, la présence de très fines particules est susceptible de bouleverser très significativement le régime d'échanges thermiques, en introduisant un facteur de rayonnement d'autant plus intense que les milieux à nanoparticules devraient être extrêmement denses optiquement. Les projections théoriques prédisent non seulement que la vitesse de la flamme pourrait être plus élevée mais en plus qu'elle évoluerait beaucoup en fonction de la forme de la flamme. Si cela se produit, la théorie classique

des flammes, habituellement utilisée pour les explosions de gaz et de poussières, deviendrait caduque et en particulier les facteurs d'échelle pourraient s'en trouver modifiés c'est-à-dire la manière de dimensionner les dispositifs de sécurité. Une étude préliminaire sur de fines particules d'aluminium tend à confirmer ce point (Proust, 2004).

Par ailleurs, la diminution de la taille des particules devrait s'accompagner globalement d'une augmentation de la réactivité du nuage et, en particulier, de sa sensibilité à l'inflammation par étincelle. Il n'est pas impossible ainsi que les seuils d'inflammation rejoignent ceux des prémélanges gazeux explosifs traditionnels avec des énergies minimales d'inflammation de l'ordre de 1 millijoule ou moins. En soi, cette tendance prise isolément n'est pas effrayante puisqu'il est possible de lutter efficacement contre le risque d'inflammation par étincelle pour les prémélanges gazeux (cf. réglementation européenne des appareils électriques, par exemple). Cependant, la manipulation de particules se traduit quasi systématiquement par l'apparition d'électricité statique dans les procédés

(Boudalaa et Proust, 2001) qu'il est d'autant plus difficile à évacuer que les seuils critiques d'inflammation sont bas.

Enfin, un dernier point concerne la formation dans l'atmosphère des nuages de nanoparticules, notamment sous l'effet d'un souffle d'explosion. On observe qu'il faut un écoulement pour mettre en suspension des particules et pour les y maintenir sous les effets antagonistes des forces de pesanteur, de contact et de traînée aérodynamique.

Il semble que, pour clarifier ces questions, il est nécessaire de s'intéresser au premier chef aux régimes de propagation des flammes, sachant que pour cela, il faudra parvenir à créer et à stabiliser des nuages de nanoparticules dans l'air.

Contact : christophe.proust@ineris.fr

• Proust Ch., Boudalaa M., (2001), *Inflammation des nuages de poussières par des étincelles et des surfaces chauffées*, Récents progrès en génie des procédés, vol. 15, pp. 63-72.

• Proust Ch. (2004), *Formation, inflammation, combustion des atmosphères explosives (ATEX) et effets associés*, mémoire pour obtenir le diplôme d'Habilitation à diriger des recherches, INPL, Université de Lorraine.

LES NANOMATÉRIAUX SOUS HAUTE SURVEILLANCE

| DES STRUCTURES ET DES UTILISATIONS NOMBREUSES |

Les nanomatériaux sont répartis en différentes familles que différencient leurs structures et leurs formes d'utilisation.

- ▶ Nanopoudres : pigments de peinture.
- ▶ Nanocapsules : médicaments, traitement des eaux usées, textiles, fluides magnétiques...
- ▶ Fullerènes : lubrifiants, catalyseurs, stockage de l'hydrogène, renforcement des polymères...
- ▶ Nanofils : transmission de signaux électriques, optiques et chimiques, fibres de renfort de textiles à haute limite élastique, matériaux biomimétiques.
- ▶ Nanotubes de carbone : renforcement des matériaux composites, céramiques, textiles, vecteurs de médicaments, muscles artificiels, circuits imprimés, systèmes de freinage...
- ▶ Nanocouches : revêtements de surface anti-adhésifs, auto-nettoyants, résistants à l'abrasion...
- ▶ Nanocomposites : apport de propriétés mécaniques, optiques, magnétiques, thermiques à des matériaux par incorporation dans la matrice.

catalytique, le carburant...), les fabricants de textiles (traitements anti-salissures, anti-froissement, anti-bactérien), de verre, de pneumatiques, d'appareils électro-ménagers (des nanoparticules d'argent dans la peinture des réfrigérateurs assurent une fonction anti-bactérienne).

Le recensement établi aux États-Unis, par le Woodrow Wilson International Center for Scholars et le Pew Charitable Trusts⁽²⁾ dénombre à ce jour dans quinze pays plus de 500 produits de consommation courante (16 en France), qui incorporent des nanomatériaux ou font appel aux nanotechnologies : vêtements, produits de soins corporels, cosmétiques, jouets, équipements sportifs, appareils électroniques et informatiques. Les nanocomposants les plus couramment utilisés sont dans l'ordre décroissant : les nanotubes de carbone, les fullerènes, l'argent, le silicium, les oxydes de titane, de zinc, de cérium.

Le marché est en très forte croissance sur l'ensemble des continents. Le revenu mondial généré par les nanotechnologies était supérieur à 40 milliards d'euros en 2001 selon la Commission européenne. La National Science Foundation (USA) estime qu'il devrait atteindre 1 000 milliards d'euros par an en 2010-2015 et concerner l'emploi de près de 2 millions de personnes dans le monde.

Pour la plupart des experts en effet, l'ère nanométrique ne fait que commencer. Les nanomatériaux auront un impact croissant dans les industries traditionnelles (pharmacie, cosmétique, automobile, aéronautique), récentes ou émergentes (électronique, informatique, aérospatiale, énergies alternatives). Le développement des nanotechnologies devrait être à l'origine de nouveaux objets (électronique moléculaire, nanophotonique), de nouvelles industries, de nouveaux traitements thérapeutiques (destruction ciblée de cellules

malignes, de maladies neurologiques). « À terme, indique Jean-Philippe Bourgoïn, directeur du programme Nanosciences du CEA, on s'attend à des mutations significatives, voire profondes, dans les usages, ainsi que dans les matériaux et procédés de fabrication, au travers de convergences technologiques notamment. Une telle convergence existe déjà avec la biologie, ce qui va permettre le développement de biocapteurs et de biopuces. De même, la robotique pourrait fortement évoluer avec de nouveaux matériaux dits « intelligents ».

Des effets pathogènes sur les tissus

Ces perspectives parfois énoncées avec un enthousiasme suspect - ne parle-t-on pas d'un futur homme bionique - sont pondérées par les risques qu'elles représentent pour la santé humaine et l'environnement. Il est reconnu par la communauté scientifique que plusieurs paramètres caractéristiques des nanoparticules sont susceptibles d'entraîner un effet pathogène sur les tissus vivants : la taille, qui autorise le franchissement des membranes biologiques que l'on croyait étanches ; une surface spécifique, et donc une réactivité chimique, inversement proportionnelle à la taille ; la composition chimique ; la forme qui, lorsqu'elle est allongée (non sphérique), s'oppose à l'action des cellules macrophages favorisant ainsi la biopersistance des particules ultra-fines dans les organes.

Parallèlement au développement des nanotechnologies, la mise au point de microscopes à tunnel capables de révéler le comportement de particules micrométriques (entre 1 et 100 microns)

| SUITE PAGE 14 |

| LES PROGRAMMES EUROPÉENS ET FRANÇAIS D'ACQUISITION DE CONNAISSANCES SUR LES RISQUES DES NANOPARTICULES |

PROGRAMME	FINANCEMENT	PARTENAIRES	DURÉE	OBJECTIFS
NANOSAFE2	Union européenne	24 organismes dont en France : CEA (coordonnateur), Arkema, DGtec, Réseau ECRIN, INERIS, INSERM	2005-2009	Développement de technologies de détection Évaluation des risques toxicologiques et accidentels Sécurisation des procédés industriels Aspects environnementaux et sociétaux
NANOTOX	ANR + Programme 189	Université Paris 7, Université de Bordeaux, INERIS	2006-2009	Toxicologie des nanoparticules : influence de la taille, de la composition chimique et de la réactivité de surface sur leurs effets pulmonaires et rénaux
NANORIS	ANR	INERIS, INSERM	2005-2008	Accompagnement de NANOSAFE2 sur les volets toxicologie et accidentologie
SAPHIR	Union européenne	23 partenaires dont en France : Compagnie Industrielle des Lasers (coordonnateur), Arkema, Alma Consulting Group, CEA, Mecachrome, INERIS, EADS	2006-2010	Étude des conditions et moyens d'une production « compétitive, propre et sûre de nanomatériaux multifonctions de haute technologie »
RespINTtox	ANR + Programme 189	INSERM, CNRS, INERIS, CERTAM	2007-2011	Étude des effets des nanotubes de carbone sur l'appareil respiratoire. Rôle de leurs caractéristiques physico-chimiques



Ghislaine Lacroix, Unité Toxicologie expérimentale

« COMPRENDRE LE COMPORTEMENT DES PARTICULES DANS LES TISSUS VIVANTS »



Mise en suspension de nanotubes de carbone.



Pesée de nanotubes de carbone sous boîte à gants.

Les nanoparticules manufacturées introduites dans l'appareil respiratoire induisent-elles une réponse inflammatoire ou un stress oxydant ? Altèrent-elles ou détruisent-elles les cellules pulmonaires ? Quel est le devenir de ces particules dans le corps ? Franchissent-elles la barrière épithéliale pulmonaire ? En quelle quantité ? Migrent-elles vers d'autres compartiments biologiques ? Ont-elles la capacité d'affecter les systèmes nerveux, immunitaire, cardiovasculaire, reproducteur ? Ce sont quelques-unes des questions auxquelles les travaux en cours au sein de l'Unité de toxicologie expérimentale tentent d'apporter des réponses. Ces travaux prolongent les recherches conduites sur la toxicité des particules atmosphériques, en particulier des particules émises par les nouvelles motorisations Diesel dont nous avons montré le rôle dans le développement de l'allergie respiratoire. Des équipes travaillent *in vitro* sur la cytotoxicité (capacité à provoquer des altérations cellulaires) des nanotubes de carbone vis-à-vis des cellules pulmonaires, sur les effets

que la taille des nanoparticules (oxydes d'aluminium) induisent sur les cellules, et sur le franchissement, par certains types de nanoparticules, de la barrière hémato-encéphalique qui protège le système nerveux central. Ces études sont complétées par des travaux *in vivo* de biodistribution qui portent également sur l'identification des enzymes et des mécanismes intracellulaires capables de conduire à l'élimination des nanotubes de carbone. Les résultats de ces recherches vont contribuer au développement de modèles toxicocinétiques (approche *in silico*) afin d'extrapoler à l'homme les effets des nanoparticules et d'établir des données de type dose-réponse. Dans ce cadre, une collaboration est engagée avec BASF en Allemagne pour obtenir des données complémentaires de biodistribution après une exposition par inhalation.

| TOXICITÉ DES NANOTUBES DE CARBONE |

Afin de déterminer les effets *in vivo* des nanotubes de carbone (NTC), des rats ont été exposés en une fois à ces particules. À différents temps après l'exposition (1 jour, 7 Jours, 1 mois, 3 mois et 6 mois), la biodistribution et la bioélimination des NTC au sein de l'organisme ont été étudiées. Les résultats obtenus ont montré que les NTC ne semblent pas passer la barrière pulmonaire et restent présents au niveau du poumon pendant au moins un mois. Cette présence prolongée met en évidence un phénomène de biopersistance qui s'accompagne par la formation de granulomes. Constitués par des cellules pulmonaires telles que les macrophages alvéolaires, les granulomes sont des structures pathologiques lorsqu'elles sont persistantes. Cependant, il semblerait que l'organisme soit capable d'éliminer les NTC. En effet, 3 mois après l'exposition, il ne reste que 50 % de la quantité de NTC initialement présente dans les poumons. Après 6 mois, tous les nano-

tubes ont été éliminés. Par conséquent, il existe bien un mécanisme d'élimination des NTC au sein de l'organisme que nous cherchons à caractériser. Nos premières expériences semblent montrer que ce mécanisme serait celui classiquement utilisé par l'organisme pour l'élimination de molécules étrangères, basé sur la mise en place d'un processus faisant appel à des enzymes spécialisées : les cytochromes P450. Par ailleurs, l'analyse de protéines spécialisées de l'inflammation a révélé une augmentation modérée de l'expression de certaines interleukines suggérant la mise en place d'un processus inflammatoire précoce. Nous pouvons donc nous demander si cette inflammation n'est pas à l'origine de l'activation des mécanismes responsables de la bioélimination des NTC. Si oui, nous chercherons à mettre en évidence les voies de signalisation intra et intercellulaires mises en jeu lors de ce processus.

• Lacroix G., Rogerieux F., (2007), *Time course of TiO₂ and carbon black nanoparticles induced pulmonary inflammation in rats*, 44th Congress of the European Society of Toxicology, 7-10 October 2007, Amsterdam, Pays-Bas.
 • Mandin C., Ji X., Ramalho O., Le Bihan O., Pairon J.C., Martinon L., Bard D., (2007), *Measuring levels, assessing determinants and variabilities of nanoparticles concentrations in residential environment, the NANOP project*, 17th annual conference of the international society for exposure analysis, 14-18 October 2007, Durham, USA.

| ENTRETIEN AVEC LE DOCTEUR ÉRIC GAFFET |



Directeur de Recherche au CNRS, le Dr Éric Gaffet a présidé le groupe de travail de l'AFSSET sur les nanomatériaux. Il note avec satisfaction depuis la publication des travaux de ce groupe, le début de la prise de conscience des risques potentiels que peuvent éventuellement représenter la production et la mise en œuvre des nanoparticules, ainsi qu'un renforcement du financement des programmes de recherche portant sur la toxicité des nanomatériaux.

INERIS Magazine. Vous avez présidé le groupe de travail mis en place par l'AFSSET. Quelles sont les évolutions intervenues depuis la publication du rapport en juillet 2006 ? Vos recommandations ont-elles été suivies d'effets ?

Éric Gaffet. Ce rapport, et d'autres (CPP, CCNE, etc.), ont suscité l'attention et la mobilisation des décideurs. Il a été suivi d'un séminaire interministériel qui a réuni, en octobre 2006, l'ensemble des directions générales des ministères. De son côté, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques a organisé

de sa réflexion sur les nanomatériaux manufacturés, ce qui démontre une prise en compte réelle des enjeux et de la nécessité de participer aux réunions internationales pour alimenter les réflexions et établir des règles internationales. J'observe également que l'Agence pour l'innovation industrielle et l'Agence Nationale de la Recherche, ont introduit la thématique santé, toxicité, environnement dans leurs appels à projets ou leurs critères de financement. Néanmoins, en termes de coordination des initiatives permettant une meilleure synergie, nous sommes maintenant dans une phase d'attente. Le rapport de l'AFSSET préconisait la création d'un observatoire indépendant et décisionnel chargé de la coordination et de la diffusion des travaux toxicologiques et épidémiologiques sur les effets des nanoparticules manufacturées. Il n'a pas encore vu le jour.

La recherche vous paraît-elle suffisamment mobilisée sur les risques associés aux nanomatériaux en France et plus largement en Europe ?

Comme l'ANR ou l'A2I, en France, la Commission européenne a introduit la dimension risques dans les programmes de recherche sur le développement des nanomatériaux du 7^e PCRD. Les consortiums doivent donc introduire le volet sécurité et environnement dans leurs projets de recherche. Ceci dit, le nombre d'équipes capables de mener ces tests est relativement réduit en France, où la toxicologie est un des parents pauvres de la recherche publique. On va arriver très vite à saturer le potentiel humain de ces équipes. Il y a pourtant à développer des équipes compétentes pour réaliser ces travaux. C'est moins critique à l'échelle européenne, mais concrètement, on ne

Quels sont les paramètres physico-chimiques qui rendent complexe l'étude du comportement des nanoparticules ?

Cette complexité résulte de l'importance de la surface spécifique d'une nanoparticule en interaction avec son environnement - au sens large - dans toutes ses phases de vie : de la production du matériau à sa fin de vie en passant par le stockage, le transfert, la mise en œuvre. Concrètement, 1 g de nanoparticules peut représenter jusqu'à plus de 100 m² de surface spécifique. À cette complexité s'ajoute la variété des traitements



Nanotubes de carbone.

de surface (fonctionnalisation) que l'on impose aux nanoparticules pour les adapter aux usages que l'on veut en faire et ces usages eux-mêmes. Les tests doivent donc prendre en compte toutes ces données. Ce qui écarte l'idée de considérer les nanoparticules comme des matériaux génériques. Il est plus pertinent, compte tenu des moyens humains et financiers dont on dispose pour évaluer les risques inhérents aux nanoparticules, de travailler directement sur l'objet que l'on veut introduire sur le marché (en considérant les différentes étapes de son cycle de vie) plutôt que sur une particule générique qui n'aurait à la limite aucune représentativité de ce que l'on va rencontrer. Ceci n'exclut pas de développer des approches toxico-cinétiques sur des nanoparticules modèles, mais concrètement et de façon pragmatique, il y a urgence à considérer les particules déjà en fabrication.

Les dispositions réglementaires existantes sur les substances chimiques peuvent-elles s'appliquer aux nanomatériaux ? Si une réglementation spécifique est indispensable, quels en seraient les principes ?

La réglementation REACH a été particulièrement difficile à mettre en place pour arriver à un texte qui n'est pas exempt d'inconvénients mais qui

“La notion de dimension est déterminante pour évaluer la toxicité des nanoparticules”

un débat public le 7 novembre 2006. Ces rencontres ont permis d'informer les représentants élus de la population et les administrations des ministères, et de favoriser la prise de conscience des actions à engager pour assurer une maîtrise responsable de ce développement. La France a nommé des représentants à l'OCDE, qui a mis en place quatre groupes de travail dans le cadre

travaille que sur cinq particules modèles - les nanotubes de carbone, le noir de carbone, la silice, le dioxyde de titane et l'oxyde de zinc - alors que les industriels produisent et utilisent déjà 1 400 types de nanoparticules pour plus de 700 produits. Il existe donc un énorme décalage entre les recherches et la disponibilité actuelle de ces particules.

a l'avantage d'exister. Pour le moment, cette réglementation ne concerne que les substances chimiques, sans prendre en compte la notion de dimension, dont on sait qu'elle est déterminante pour évaluer la toxicité des nanoparticules. Il faudrait pouvoir y introduire ce facteur déterminant. Des discussions sur l'adaptation de REACH sont en cours. Les avis divergent sur les modalités d'une évolution du texte réglementaire. Pour ma part, je considère qu'on doit s'appuyer sur le texte existant pour ne pas attendre encore dix ans avant d'avoir une réglementation spécifique. Il faut introduire dans ce texte une propriété physico-chimique dépendante de la taille de l'objet, qui puisse le définir comme étant une substance nouvelle. Et bien sûr, adapter les valeurs de tonnage à la production des nanoparticules.

Seriez-vous favorable à un moratoire sur la production des nanomatériaux ? Est-il encore temps ?

L'idée d'un moratoire reviendrait, par exemple, à arrêter la production des pneumatiques, qui contiennent tous aujourd'hui du noir de carbone, des nanoparticules dont la production représente près de 10 millions de tonnes par an à l'échelle mondiale. Il y a donc un état de fait qu'il faut prendre en compte. Mieux vaut mobiliser son énergie à obtenir des crédits pour développer les recherches en toxicité, en épidémiologie, en formation et en prévention ainsi qu'en métrologie, afin de mettre au point des instruments de mesure capables de mesurer de façon spécifique les nanoparticules manufacturées. Même Greenpeace ne demande pas un moratoire complet. Cette ONG internationale reconnaît l'intérêt des nanotechnologies dans deux secteurs essentiels pour les pays à faible développement économique. D'une part, les « labs on chip », les laboratoires sur puce, qui permettent de réaliser sur place des diagnostics sur les maladies pour engager un traitement immédiat. L'autre secteur, c'est celui de la dépollution de l'eau. Les nanotechnologies permettent déjà de fabriquer des dispositifs de nanofiltration qui, couplés à un système photovoltaïque, servent à assainir l'eau dans les régions les plus reculées. Je préfère donc le principe ALARA, c'est-à-dire la mise en œuvre de protocoles opératoires conduisant à une exposition aussi faible qu'il est raisonnablement possible, protocoles à éventuellement renforcer au fur et à mesure de l'avancement des connaissances issues des programmes de recherche en toxicité, mieux adaptés à la réalité actuelle de la production et de la mise en œuvre de ces nanoparticules.

Éric Thybaud, Responsable de l'Unité Évaluation des risques écotoxicologiques

« IL FAUT TRAVAILLER SUR LA MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION DE L'IMPACT DES NANOMATÉRIAUX SUR L'ENVIRONNEMENT »



Les données sur l'écotoxicité des nanomatériaux sont rares et sommaires. Des études sont en cours aux États-Unis (Université de Houston et Environmental Protection Agency) sur le comportement des particules ultrafines dans l'environnement, les mécanismes de biodégradation et de bioaccumulation, l'adsorption de polluants sur les nanoparticules d'origine industrielle, l'effet biochimique des nanotubes de carbone dans les sédiments estuariens. Mais la dispersion des nanoparticules, leur migration dans les sols, l'évaluation de leur impact direct et indirect sur les espèces végétales ou animales, aquatiques ou terrestres, ont jusqu'à présent suscité peu de travaux de recherche.

La connaissance du comportement de ces matériaux relargués dans les différents compartiments environnementaux est pourtant fondamentale pour concevoir et réaliser des tests pertinents d'évaluation de l'écotoxicité des nanoparticules à des fins normatives ou réglementaires. Les premiers travaux expérimentaux réalisés à l'INERIS sur la toxicité des nanoparticules dans le milieu aquatique (algues, daphnies) attestent que les résultats des expériences varient de façon significative en fonction du mode de préparation des nanomatériaux en vue de la réalisation des essais. Ainsi, la concentration inhibant de 50 % la croissance de populations alguales est de 400 mg/l lorsqu'une préparation acquise d'oxyde de titane est soumise à des ultrasons. Mais cette

n'est plus que de 25 mg/l lorsque cette préparation est agitée.

Dans la perspective d'une soumission des nanoparticules à la réglementation REACH, il paraît donc important de disposer de données sur l'écotoxicité des nanomatériaux, mais également de définir des protocoles de bioessais et des méthodologies d'évaluation de l'écotoxicité pour garantir la cohérence des résultats. Cette approche méthodologique sous-tend les études expérimentales de caractérisation de l'écotoxicité de certaines nanoparticules (oxydes de titane, oxydes de zinc, nanotubes de carbone) que nous avons initiées en 2007 dans le cadre d'un programme d'appui au Bureau des Substances et Préparations Chimiques du MEDAD. Les premiers essais de manipulation en laboratoire portant sur les algues et les micro-crustacés (daphnies) sont encourageants. Ils seront poursuivis en 2008 et élargis à l'écotoxicité des nanoparticules vis-à-vis des poissons.



**Solution de nanoparticules
de carbone sous agitation.**

LES NANOMATÉRIAUX SOUS HAUTE SURVEILLANCE

a permis de mettre en évidence leur responsabilité, en particulier dans l'apparition de maladies pulmonaires. Les scientifiques ont rapidement émis l'hypothèse que ce qui est vrai à cette échelle, pouvait à fortiori l'être à l'échelle nanométrique. De fait, les premiers travaux portant sur les nanoparticules ont confirmé leur capacité à pénétrer dans les alvéoles pulmonaires, à provoquer des effets inflammatoires, y compris à faible dose, à induire un stress oxydant et à migrer vers d'autres organes (translocation). Les nano-objets (100 000 fois plus petits que les cellules) peuvent également pénétrer chez l'homme par les voies digestives, de même que la possibilité d'une pénétration par voies cutanées a été avancée. « Les prévisions, pour les années à venir, d'une forte croissance de la recherche et des applications industrielles dans le domaine des nanomatériaux, s'accompagnent ainsi d'une crainte que ces matériaux puissent se révéler dangereux pour la santé, en premier lieu pour les travailleurs employés dans ces activités, mais également pour la population générale »⁽³⁾.

L'OCDE initie six projets

Ces risques ont conduit l'OCDE à mettre en place un groupe de travail qui constitue le principal lieu de coordination des activités de recherche à l'échelon international. Ce groupe a initié six projets portant notamment sur la connaissance des incidences des nanomatériaux manufacturés sur la santé et l'environnement, les bases de données, les systèmes d'essais, les méthodes d'évaluation des risques.

Face à l'insuffisance des connaissances sur les nanomatériaux, la Communauté européenne relayée par les États-membres a souligné de son côté qu'il est prioritaire d'établir :

- « des données sur les risques pour l'homme et pour l'environnement, ainsi que des méthodes d'essai permettant de produire ces données ;
- des données sur l'exposition sur toute la durée de vie des nanomatériaux ou des produits qui les contiennent, ainsi que des méthodes d'évaluation de cette exposition ;
- des mesures, des méthodes de caractérisation des nanomatériaux, des matériaux de référence et des méthodes d'échantillonnage et d'analyse afin de permettre une prise en compte des expositions. »

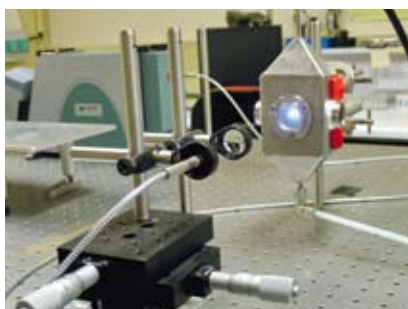
Les recommandations des experts

De façon quasi concomitante, plusieurs rapports ont en effet mis l'accent sur les interrogations multiples que soulèvent les nanotechnologies. Dès septembre 2005, les ministères chargés de la

| AU CŒUR DU PROJET NANOSAFE2 |



▲
Mesure directe
par laser à impulsion, **détection**
de présence de nanoparticules
manufacturées dans l'air.
▼



Le programme intégré NanoSafe2 (2005-2009) coordonné par le CEA, a pour ambition de combler les lacunes dans le domaine de la maîtrise des risques qu'avaient mises en évidence les participants au programme NanoSafe1.

NanoSafe2 comprend quatre sous-projets :

- le développement de technologies avancées de détection des nanoparticules dans l'environnement ;
- l'évaluation des risques toxicologiques et accidentels ;
- la sécurisation des procédés industriels ;
- les aspects environnementaux et sociétaux des nanotechnologies.

Impliqué dans ce programme européen, l'INERIS participe à la mise au point d'un système de détection associant la technologie du LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) à un compteur de particules. Cet instrument permettra de caractériser la composition chimique des nanoparticules dans l'environnement, d'évaluer leur concentration et leur distribution en taille. L'INERIS est également partie prenante avec des équipes de l'INSERM et de l'Université de Louvain dans le volet toxicologique du programme. Enfin, l'Institut contribue aux essais d'explosibilité des particules sélectionnées dans le cadre de NanoSafe2 : nanotubes de carbone, noir de carbone, oxydes de titane, d'aluminium et d'argent.

Santé, du Travail et de l'Écologie ont demandé à l'AFSSET de réaliser une synthèse des connaissances techniques et scientifiques disponibles sur :

- la typologie, les propriétés physico-chimiques, les caractéristiques toxicologiques et les effets biologiques et sanitaires des nanomatériaux ;
- les domaines d'utilisation actuels et futurs de ces nanomatériaux ;
- les outils métrologiques disponibles ou en cours de développement ;
- les données d'exposition (actuelle et potentielle) de la population générale et des travailleurs et notamment les paramètres pertinents permettant de les caractériser ;
- les impacts sanitaires.

Dans ses conclusions, rendues publiques en juillet 2006, l'AFSSET formule des recommandations. Elle demande notamment « la surveillance des nanomatériaux par une structure indépendante et décisionnelle » incluant « d'une part, un programme de recherche fondamentale et appliquée (métrologie, détection, toxicité et épidémiologie) sur les méthodes de cette surveillance et d'autre part,

l'étude des modalités d'enregistrement et le suivi de personnes exposées, notamment les employés des industries productrices et utilisatrices de nanomatériaux ». L'Agence demande également la prise en compte de la spécificité des nanomatériaux par l'Union européenne dans le cadre de la réglementation REACH (Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals).

Certaines de ces recommandations rejoignent celles qu'a émises quasi simultanément (mai 2006) le Comité de la Prévention et de la Précaution dans son rapport « Nanotechnologies, nanoparticules. Quels dangers ? Quels risques ? » Parmi les mesures de précaution que préconise le CPP figurent : l'adoption de dispositions protégeant les travailleurs « sans attendre la mise en évidence de la toxicité ou de l'innocuité des différentes nanoparticules » ; le conditionnement des déchets et le traitement de l'air et des rejets



Olivier Le Bihan, Unité Qualité de l'air

« LA MÉTROLOGIE CONSTITUE UNE ÉTAPE-CLÉ DANS LA CONNAISSANCE ET LA MAÎTRISE DU RISQUE LIÉ AUX NANOPARTICULES »



Mesure de la surface spécifique par diffusion de charge.

En effet, qu'il s'agisse de particules élaborées par l'homme telles que les nanoparticules manufacturées ou naturelles (particules « ultrafines »), l'objectif est de détecter ces particules et de fournir des données sur leur concentration en nombre dans l'air, l'eau ou le sol, leurs propriétés morphologiques, chimiques et physico-chimiques. Autant d'informations essentielles aux différentes voies de recherche sur les impacts des nanoparticules : l'exposition des personnes, la toxicité et l'écotoxicité des matériaux, les risques accidentels.

Le défi auquel est confrontée la métrologie est, entre autres, la mise au point d'une instrumentation de mesure spécifique capable de détecter ces particules et d'en déterminer l'origine, naturelle, anthropique, industrielle. La distinction par origine devrait, en effet, mieux permettre de les isoler en vue de leur étude, ou d'assurer une surveillance en continu dans les lieux de travail comme dans l'environnement.

L'INERIS contribue à développer des approches expérimentales, tout particulièrement dans le

domaine de la qualité de l'air.

Ainsi, l'Institut s'attache, en collaboration avec le CEA, à la mise au point d'une instrumentation permettant d'effectuer des prélèvements à la source et de réaliser en temps réel des mesures spécifiques par le couplage et l'adaptation de différentes techniques, en l'occurrence la granulométrie et l'analyse par LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy), une technique développée par l'Unité Qualité de l'air, reposant sur l'analyse spectrale d'un plasma généré par une impulsion laser intense.

Parallèlement, l'équipe travaille sur deux voies de recherche : la mesure de la surface spécifique des particules, dont les toxicologues ont prouvé qu'elle constituait un paramètre déterminant, alors que jusqu'à présent la métrologie s'intéressait exclusivement au nombre et à la taille des particules ; dans le cadre d'un partenariat, nous avons également lancé un projet sur la caractérisation de l'exposition potentielle du consommateur tout au long du cycle de vie d'un nanoproduct. Cette connaissance est fondamentale pour assurer la sûreté de production de nanotechnologies.

- Baudelet M., Guyon L., Yu J., Wolf J.-P., Amodeo T., Fréjafon E., Laloi P., (2006), *Spectral signature of native CN bonds for bacterium detection and identification using femtosecond laser-induced breakdown spectroscopy*, Applied Physics Letters, vol. 88.
- Yu J., Baudelet M., Guyon L., Bossu M., Jovelet J., Wolf J.-P., Amodeo T., and Fréjafon E., Laloi P., (2006), *Femtosecond Laser-Induced Breakdown Spectroscopy for Microbiological Sample Analysis*, LIBS 2006, 4th International Conference on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, Montreal, Canada.

| LE LIBS APPLIQUÉ À LA CARACTÉRISATION DES NANOPARTICULES |

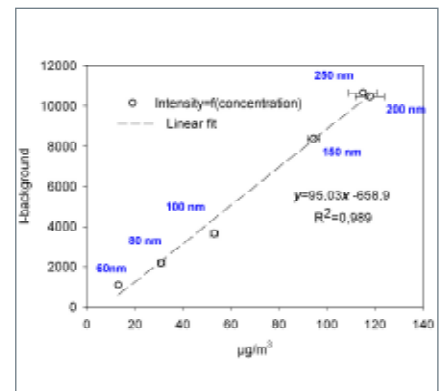
La technique LIBS consiste à focaliser de brèves impulsions lasers (femtosecondes, nanosecondes) à la surface de solides, gaz ou liquides, afin de transformer la matière présente en un plasma de volume sub-millimétrique. Cela permet d'analyser la composition élémentaire originelle à partir du spectre émis par les atomes. Centrée sur l'identification des espèces, elle a été développée avec un couplage des dispositifs de mesure du nombre et de la taille des particules.

La fraction particulaire est difficile à caractériser car les paramètres à mesurer sont complexes. La concentration massique et son évolution temporelle sont des indicateurs insuffisants. Il faut prendre en compte la composition chimique et les composés adsorbés à la surface, la distribution en taille et la spatialisiation et son évolution.

Pour la détection des particules dans l'air ambiant, un générateur de particules calibrées a permis de quantifier la sensibilité de la technique.

Il a été mis en évidence que le signal LIBS était quasi linéaire, il rend donc compte de la quantité de matière pour les tailles de particules considérées. Une première estimation de la limite de détection instrumentale se situe à environ $1\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, qui ne semble pas dépendre de la taille des particules. Cette technique est très bien adaptée aux analyses en ligne. En collaboration avec le CEA, un essai de faisabilité d'une analyse stoechiométrique en temps réel a été réalisé dans un réacteur de fabrication de nanoparticules de carbure de silice. Des modélisations de physique statistique ont été utilisées pour interpréter les résultats des mesures LIBS.

Contact : emeric.frejafon@ineris.fr



Intensité LIBS en fonction de la concentration massique pour différentes tailles de particules de NaCl.

liquides des industries de nanoparticules « pour éviter la dispersion incontrôlée de ces nanoparticules » ; l'élaboration d'un dispositif réglementaire en cohérence avec les recommandations de la Commission européenne appréhendant les nanoparticules comme des substances ou des nouveaux produits « et non comme la simple miniaturisation de substances ou de produits dont les risques et les nuisances sont déjà connus », ce qui implique leur évaluation systématique. Plus encore, le CPP estime que tout programme de développement de nanoparticules devrait être associé à des recherches destinées à en évaluer la sécurité sanitaire et environnementale.

La Commission européenne relayée par les États-membres

À l'initiative de l'Union européenne, les recherches conduites ou en cours sur les incidences des nanotechnologies ont été financées à hauteur de 28 millions d'euros au titre des 5^e et 6^e PCRD (Programmes-Cadre de Recherche et de Développement Technologique) entre 1998 et 2006, principalement dans le cadre du programme intégré NanoSafe2 qui a débuté en 2005. Considérant que « les nanotechnologies offrent d'importantes possibilités en matière d'amélioration de la qualité de vie et de la compétitivité industrielle en Europe » mais que « leur développement et leur utilisation ne doivent être ni retardés, ni déséquilibrés, ni laissés au hasard », la Commission a décidé d'accroître le soutien qu'elle apporte aux travaux de recherche sur les aspects environnementaux et sanitaires des nanoparticules et nanotechnologies. Ces efforts sont relayés par les États-membres. En France, les crédits publics (Agence Nationale de la Recherche, Programme 189 du ministère de l'Écologie) financent les programmes NANORIS, NANOTOX, RespINTtox. Doté de compétences pluridisciplinaires, et partenaire d'organismes publics fortement investis dans cette problématique (CNRS, INSERM, CEA), l'INERIS participe aux travaux de recherche sur les risques associés aux nanomatériaux dans plusieurs domaines : la toxicologie, l'écotoxicologie, l'expologie, la métrologie, et l'accidentologie.

(1) Rapport de mise en œuvre du plan d'action 2005-2009 relatif aux nanosciences et nanotechnologies. Septembre 2007

(2) <http://www.nanotechproject.org>

(3) *Les nanomatériaux. Effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement.* AFSSET, juillet 2006

LE DÉBAT EST OUVERT

Consultations, colloques, forums, rencontres... le débat participatif sur les enjeux scientifiques, mais aussi sociétaux et éthiques, des nanotechnologies s'est installé en France comme en Europe et dans le reste du monde industrialisé. Avec un objectif : éclairer les citoyens et leurs représentants sur les risques et les bénéfices attendus.

Bien que circonscrit à des acteurs et observateurs éclairés, le débat sur l'impact potentiel des nanomatériaux synthétiques s'est développé en France depuis trois ans, alimenté par les rapports, avis et dossiers d'organismes institutionnels, le plus souvent sollicités par l'autorité publique : AFSSET, INRS, CPP (Comité de la Prévention et de la Précaution), CNRS, Comité consultatif national d'éthique, OPECST (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques), CNIL, Conseil général des Mines...

La première action retentissante de sensibilisation du public, ou de ses représentants, remonte à 2003. Elle est le fait du groupe canadien de réflexion et d'action ETC (Erosion, Technology, Concentration) qui a dénoncé dans un communiqué la dissémination aérienne d'un produit contenant des particules nanométriques par les autorités américaines, en l'absence de toute étude sur les effets secondaires de cette utilisation. Ce rejet consécutif à un incendie qui avait ravagé 2 000 hectares en territoire indien était censé stabiliser le sol afin de protéger les ressources aquifères de la région. À l'époque, ETC

Associations et décideurs politiques

Certaines de ces initiatives relèvent d'associations affichant leur indépendance comme « Sciences et Démocratie » fondée en novembre 2005 ou « Vivagora » qui se définit comme une « plateforme de veille, d'information et de dialogue pour une participation citoyenne aux choix scientifiques et techniques ».

D'autres ont pour origine des organismes créés par les industriels, tel « Entreprises pour l'Environnement » qui a organisé le 21 octobre 2006 avec l'Association de prévention de la pollution atmosphérique un débat d'experts, autour des « recommandations citoyennes » formulées par un panel d'une quinzaine de personnes sélectionnées par la SOFRES, en présence de représentants des producteurs, des ONG et des directions des ministères concernés.

Les décideurs politiques ont également pris leur part dans l'organisation du débat participatif. Soit dans le cadre d'une institution comme l'OPECST qui a procédé le 7 novembre 2006 à l'audition publique d'experts sur le thème « les

Objectif : éclairer sur les risques et les bénéfices

avait appelé à un « moratoire sur la production commerciale de la nanotechnologie ». Devenues depuis une controverse sociotechnique à l'instar des OGM et des téléphones mobiles, les nanotechnologies sont au centre de nombreux débats, colloques et forums qui ont permis à la communauté scientifique et aux représentants de l'industrie d'exposer leurs positions devant un public composé pour l'essentiel de militants d'associations écologiques, de journalistes spécialisés et de représentants élus de la population. En trente mois, du forum public sur le développement des nanotechnologies organisé à Grenoble les 16 et 17 juin 2005, en réponse aux affirmations d'un groupe d'opposants « anti-nano », au colloque « Nanotechnologies et matériaux de construction » proposé le 8 novembre 2007 (au CNAM, à Paris) par l'association Sciences et Démocratie, on ne dénombre pas moins en France d'une vingtaine d'initiatives relevant du « débat citoyen ».

nanotechnologies : risques potentiels, enjeux éthiques ». Soit dans celui des Conseils régionaux (Ile-de-France, Rhône-Alpes), de rencontres parlementaires⁽¹⁾ ou du Conseil Économique et Social qui a organisé le 1^{er} février 2007, un colloque sur « la révolution des nanotechnologies : quels espoirs ? quels enjeux ? ». Sans oublier les débats et tables rondes qui se sont déroulés à la Cité des Sciences les 19 et 20 mars. Ni le groupe de travail n°3 du Grenelle de l'environnement, « Instaurer un environnement respectueux de la santé », dont les conclusions prônent, entre autres, la mise en place d'un comité de concertation associant toutes les parties prenantes et l'organisation d'une conférence de consensus scientifique, « par exemple, par la Commission Nationale du Débat public en 2008 ».

(1) Les 1^{ères} journées parlementaires sur les nanotechnologies ont eu lieu le 28 novembre 2006 à la Maison de la Chimie, à Paris



DÉVELOPPEMENTS

IneReach sera en démonstration pour présentation et échanges avec nos experts sur le stand **INERIS** du Salon **Pollutec** (5A L020).

Outil IneReach

En vigueur en Europe depuis le 1^{er} juin 2007, REACH va avoir des conséquences qu'il est important d'anticiper. C'est à cette fin que l'INERIS a développé le produit « IneReach ».

L'industrie chimique européenne représente 31 % de la chimie mondiale et joue un rôle économique majeur. Afin d'améliorer la maîtrise des substances les plus dangereuses et de renforcer la protection de la santé et de l'environnement, l'Europe s'est dotée récemment d'une nouvelle réglementation sur les substances chimiques. Il s'agit du règlement REACH (Enregistrement, évaluation et autorisation des substances chimiques) qui est entré en vigueur dans les 27 États-membres de l'Union européenne, au 1^{er} juin 2007, après trois années de négociations⁽¹⁾.

Les conséquences prévisibles du règlement REACH. Cet outil propose au client des fiches substances génériques destinées à aider les services d'ingénierie dans l'industrie à répondre aux questions suivantes :

- Les substances chimiques que j'utilise aujourd'hui seront-elles toujours disponibles sur le marché dans 5 ans ?
- Quelles substances retenir dans la préparation ou le process que je conçois pour demain ?
- Comment anticiper une substitution ?

Contact : augustin.baulig@ineris.fr

Anticiper les conséquences

Dans ce contexte, l'INERIS a conçu le produit « IneReach » visant à aider les industriels à anticiper

(1) Règlement CE N°1907/2006 du Parlement et du Conseil du 18 décembre 2006.

Les fiches IneReach

Les fiches IneReach « sur étagère » se présentent sous la forme d'un document recto-verso associant un résumé des informations relatives à une substance donnée et un indicateur du niveau de préoccupation de cette substance dans le cadre de REACH.

L'identification de la substance et le rappel des informations de base

Chaque substance est identifiée par son nom chimique et son numéro CAS. Après quelques rappels génériques sur la substance et ses principales données physico-chimiques, la fiche présente la classification/étiquetage de la substance dans le système européen actuel (Directive 67/548 CEE). En fonction des données disponibles, IneReach présente également une image de la future classification possible dans le système GHS (Global Harmonized System).

L'indicateur de préoccupation dans le cadre de REACH

L'indicateur IneReach se présente sous la forme d'un feu de couleur symbolisant le niveau de préoccupation de la substance au regard des exigences du règlement REACH. Il caractérise la criticité de la substance, sa dangerosité, qui permet notamment d'identifier dans quelle mesure la substance pourrait être soumise à des contraintes particulières de mise sur le marché. L'indicateur est par ailleurs associé à un indice de confiance permettant d'évaluer la quantité d'informations scientifiques disponibles mettant en évidence le caractère critique de la substance ainsi qu'une prescription identifiant les contraintes

INERIS Une aide à l'anticipation de REACH

Formaldéhyde
N°CAS : 50-00-0 - N°CEA : 2209
N°EINECS : 209-001-8 - N°IEXX : 605-001-00-5

<p>• Généralités Le formaldéhyde est un liquide utilisé principalement comme intermédiaire de synthèse pour la fabrication de résine, l'industrie du papier, des matériaux plastiques, textiles, colles, peintures, engrais etc. Le formaldéhyde est également utilisé comme agent désinfectant biocide.</p> <p>• Données économiques HFV : 1 000 000 tonnes par an (34 producteurs/importateurs européens identifiés dans EURL).</p>	<p>• Données physico-chimiques Formule : HCHO PM : 30,01 g mol⁻¹ Temp fusion : -92,110°C Solubilité : 90000 mg/L (20°C) Pression de vapeur : 517,119 kPa (25°C) Log Kow : 0,35 à 25°C</p> <p><chem>O=C</chem></p>
<p>• Directive 67/548 CEE (classification actuelle, 2^e ATP)</p> <p>• Classification possible dans le système GHS</p>	<p>Symboles </p> <p>Classification Symbole T R22/R23 R34 R40 R43</p> <p>Conséils de précaution S1/2 S26 S36/37/39/53 S51</p> <p>Préoccupation dans le cadre de REACH</p> <p>IC=9/10</p>
<p>• Autres règlements (Roctocides, IMD etc.)</p>	<p>Concerné par la Directive Biocides TMD : Classe de danger 3 Groupe d'emballage III</p>

• Prescription : Enregistrement sous 3 ans - Evaluation prioritaire - Autorisation possible et maintien sur le marché probable.

La présente fiche a été établie sur la base des informations de dangers (ci-dessus) ou techniques disponibles dans les bases de données sur Internet et de la réglementation en vigueur. L'INERIS dégage toute responsabilité quant à l'utilisation et l'interprétation des données de cette fiche. De plus, l'analyse des risques est laissée aux soins de l'utilisateur en fonction de « l'usage et l'utilisation » de la substance.

15/10/07 page 1/2

qui peuvent peser sur la substance et son devenir. IneReach est susceptible d'évoluer en fonction de l'application pratique du règlement REACH.

Le résumé d'informations techniques

Enfin, le verso des fiches IneReach présente, pour chaque substance, un résumé des informations toxicologiques et écotoxicologiques qui sont cotées sur des échelles de 0 % à 100 % en fonction du niveau de préoccupation par rapport aux exigences du règlement REACH. Cette cotation repose, après validation des données élémentaires par les experts *ad hoc*, sur un algorithme spécifique développé par l'INERIS.



DÉVELOPPEMENTS



La multiplication
**d'événements
climatiques
extrêmes**
préoccupe de plus en plus
les scientifiques
et les décideurs.

NaTech Les sites industriels face aux aléas naturels

Accidents provoqués par les aléas naturels (séismes, inondations, tempêtes, etc.), les « NaTech » reflètent une certaine vulnérabilité des sites industriels. Déjà présent sur cette thématique, l'INERIS engage aujourd'hui un programme de recherche spécifique et une action d'appui aux pouvoirs publics, qui privilégient une approche globale et pluridisciplinaire.

Nouvelle-Orléans, août 2004. Katrina, l'un des plus puissants cyclones jamais enregistré aux États-Unis vient de ravager la ville et le littoral de la Louisiane. Particulièrement touchée, l'industrie côtière et offshore doit gérer des incendies et des fuites de polluants. S'y ajoutent les métaux lourds présents dans les sédiments du lac Pontchartrain, remobilisés par le courant et dispersés, plus tard, par l'érosion éolienne. L'Amérique connaît un événement « NaTech » - contraction des mots « naturel » et « technologique » - autrement dit, l'un de ses plus gros accidents industriels initié par un aléa naturel. Katrina révèle-t-il une vulnérabilité nouvelle des installations industrielles ? Loin s'en faut. En effet, le risque naturel constitue, de longue date, un paramètre de l'activité industrielle. « Les

premières tanneries romaines de Paris, installées à proximité du fleuve pour des raisons techniques, ont sans doute subi des inondations entraînant des nuisances sur leur fonctionnement et des conséquences pour l'environnement », remarque Christophe Didier, Directeur adjoint de la Direction des Risques du Sol et du Sous-sol de l'INERIS. « *L'existence d'aléas naturels n'a toutefois pas empêché l'industrie de se développer.* »

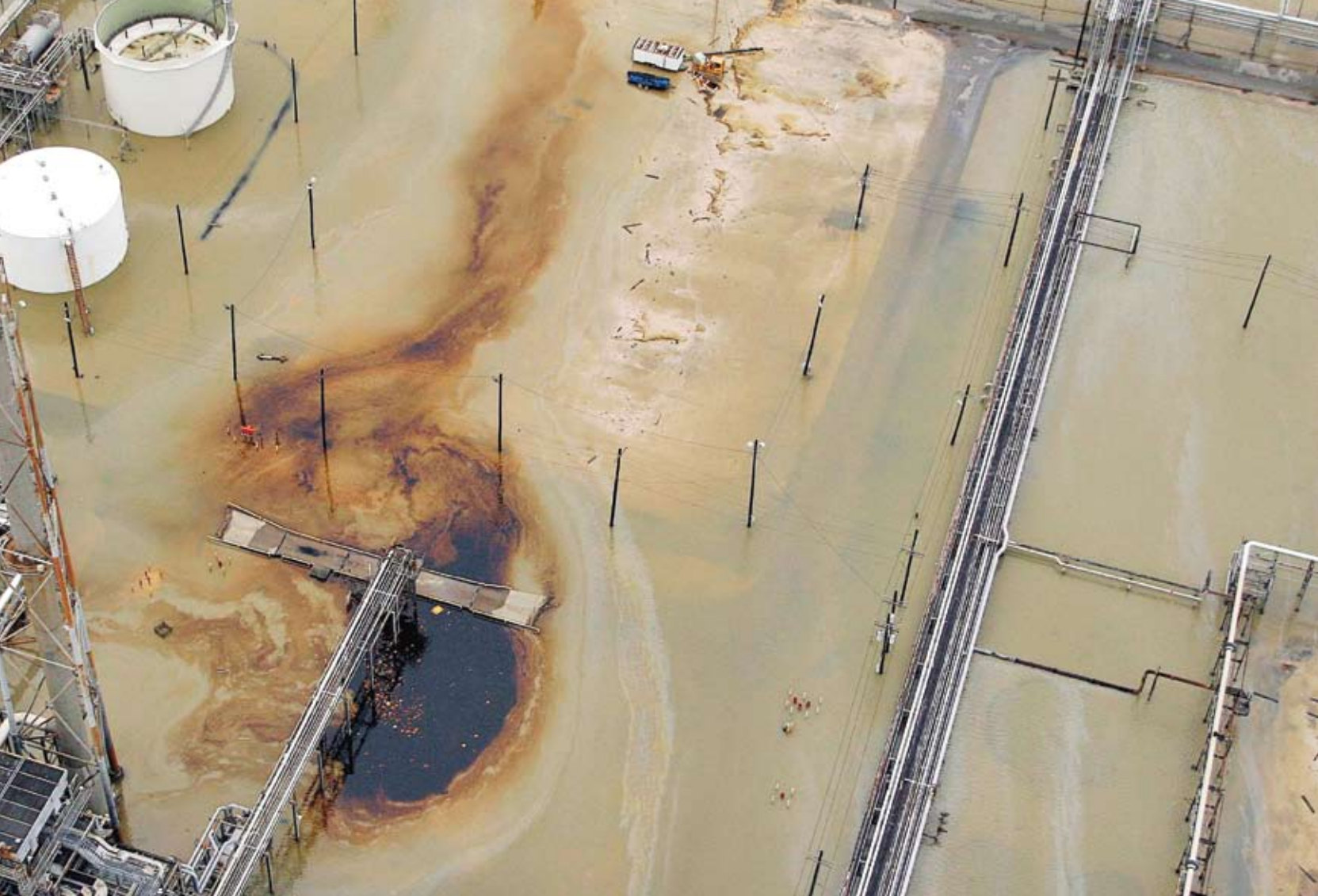
NaTech et sécurité industrielle

De fait, l'impact potentiel des aléas naturels est déjà pris en compte par les concepteurs d'équipements techniques et d'installations industrielles. Ces aléas figurent notamment au nombre des « événements initiateurs » identifiés dans l'étude de dangers – une condition réglementaire préalable à l'exercice d'une



© Sipa

activité industrielle « à risques ». Également, les Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN) peuvent formuler des préconisations techniques à destination des sites industriels. Au-delà de nos frontières, le Japon, la Turquie, les États-Unis donnent à voir de nombreux cas d'installations situées dans des zones sismiques ou inondables notoires. Or, malgré ce savoir-faire, de récents événements ne cessent de révéler la vulnérabilité des sites industriels – une source de préoccupation pour la communauté scientifique internationale et pour les autorités compétentes, notamment en Europe. « Avant celui de la Nouvelle-Orléans, divers accidents, liés à des séismes, l'un dans une raffinerie en Turquie et l'autre dans une centrale nucléaire au Japon par exemple, ont marqué les esprits et motivé plusieurs missions internationales de retour d'expérience », remarque Bastien Affeltranger, ingénieur à la Direction des Risques Accidentels de l'INERIS. L'INERIS a ainsi produit un guide sur l'aléa sismique pour l'industrie et participé au retour d'expérience sur le séisme d'Izmit en 1999. À ce titre, la complémentarité technique des directions opérationnelles de l'INERIS apparaît clairement... Enfin, les événements hydro-météorologiques induits ou associés au changement climatique ajoutent à la préoccupation et à l'incertitude. En France, la prévention des accidents NaTech s'inscrit dans le cadre d'une stratégie globale de sécurité



industrielle. Celle-ci associe l'ensemble des acteurs concernés : services de l'État, industriels et collectivités locales. Ce capital réglementaire et technique, dont la qualité est reconnue en Europe et ailleurs, constitue un acquis solide à partir duquel peuvent être identifiées d'éventuelles marges de progrès.

Un vaste programme lancé par l'INERIS

Comment faire face à ce type d'événements, rarement prévisibles et toujours complexes ? C'est tout l'enjeu d'APSYRIS, un programme de recherche engagé par l'INERIS pour trois ans (2008-2010). Il est renforcé, dès 2008, par un programme d'appui technique à l'administration. APSYRIS vise à comprendre et réduire la vulnérabilité des équipements et des installations industrielles face aux événements naturels en mettant en œuvre une approche d'inspiration « systémique ». « *Ce regard se propose d'aborder les problèmes d'une façon plus intégrée, en considérant la complexité des facteurs des séquences accidentelles NaTech* », explique Bastien Affeltranger.

L'objectif de cette double démarche est de consolider une expertise technique et opérationnelle reposant sur une analyse des accidents NaTech, sur une connaissance des bonnes pratiques en France et au-delà de nos frontières et sur une analyse des besoins des services de l'État. Il est notamment attendu de ces programmes, conduits en partena-

riat avec divers organismes français et étrangers, d'éclairer les décisions de prévention face au(x) risque(s) NaTech.

Ce vaste chantier bénéficie de l'expertise plurielle de l'INERIS en matière d'analyse, d'évaluation et de prévention des risques – seront particulièrement mobilisées la Direction des Risques Accidentels et la Direction des Risques du Sol et du Sous-sol. Plusieurs projets nationaux (ANR) et Européens (7^e PCRD) sont attendus en renfort. À travers les réseaux mobilisés, l'INERIS bénéficiera d'autres sources d'expertise, et donnera une visibilité accrue à la sienne propre.

Une approche pluridisciplinaire

On le comprend aisément, la problématique NaTech est d'une complexité telle, qu'elle ne peut être abordée que d'une manière pluridisciplinaire – mais mobilisant également des champs d'expertise très précis. « *Nos recherches seront transversales, et feront travailler ensemble aussi bien des géologues, des spécialistes des aléas météorologiques, des spécialistes du génie civil et du comportement des structures ou encore des sociologues et des aménageurs* », ajoute Bastien Affeltranger. L'INERIS est ainsi l'un des rares organismes d'expertise et de recherche à fédérer en son sein bon nombre de ces compétences, à même de coordonner ces travaux, d'en faire la synthèse et de les traduire en recommandations. Ainsi, la certification, les risques

chroniques, l'audit environnemental ou encore la formation sont autant de pôles d'expertise de l'INERIS susceptibles d'être mobilisés pour une réponse la plus complète possible face aux NaTech.

Enfin, la recherche française et internationale en sécurité industrielle bénéficie depuis plusieurs décennies des apports de la sûreté nucléaire et de la fiabilité aéronautique. « *Aujourd'hui, nous sommes déjà capables de prévoir les conséquences d'un mouvement de terrain sur un bâtiment* », note Christophe Didier. « *Demain, nous connaissons avec plus de précision la vulnérabilité d'installations industrielles sensibles soumises aux aléas naturels caractéristiques d'un site. À ce propos, une autre piste que nous souhaitons explorer est l'identification de l'événement naturel exceptionnel capable de faire subir à l'installation une défaillance grave. Le spécialiste de l'aléa naturel correspondant pourra alors établir la probabilité que cet événement survienne, afin d'en déduire la nécessité ou non de prendre des mesures exceptionnelles adaptées à un tel phénomène* ». On le voit, l'enjeu est bien de développer une véritable continuité de la connaissance face à la problématique NaTech – de l'aléa naturel initiateur jusqu'aux leçons tirées d'un accident majeur.

Contacts :

christophe.didier@ineris.fr

bastien.affeltranger@ineris.fr



Le Grenelle de l'environnement

Rencontre avec Philippe Hubert, Directeur des Risques Chroniques de l'INERIS. En tant que participant au Groupe 3 du Grenelle de l'environnement, consacré à la Santé (« Instaurer un environnement respectueux de la Santé »), Philippe Hubert revient sur les enjeux de ce large débat.



Comment s'est déroulé ce « Grenelle » ?

Jusqu'ici, en quatre grandes étapes. Une feuille de route a d'abord été définie en juin. Puis, une cinquantaine de personnes par groupe, dont je faisais partie, ont planché sur l'élaboration d'un texte de propositions jusqu'à mi-septembre. Ensuite, ce texte a servi de support à des débats en régions, auprès de différents publics, et a fait l'objet de consultations par des collègues et comités variés. La phase de bouclage a eu lieu au mois d'octobre, avec une synthèse regroupant des propositions de mesures concrètes de la part du ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables, pour finir avec le discours du président de la République, Nicolas Sarkozy.

L'enjeu était important car il fallait se mettre d'accord sur les priorités et voir si nous pourrions conjuguer nos forces pour avancer concrètement. Pour la première fois, en effet, l'ensemble des partenaires a pu se retrouver autour d'une même table : les industriels, les représentants de l'État dans son rôle d'« autorité » (ici DPPR, DGAI, DGS), comme d'évaluation (AFSSET, INVS, INERIS, BRGM, Université) – et c'est cela qui était nouveau au niveau national –, les associations, les syndicats de salariés, et les collectivités territoriales. Par exemple, jusqu'à présent, ces dernières étaient beaucoup plus impliquées dans le problème de gestion locale : souci de protection de l'eau ou assainissement, friches industrielles, sols pollués, mais moins dans les questions de santé à l'échelle locale, ni dans l'établissement des politiques nationales sur l'un et l'autre sujet.

Pour autant, le « Grenelle » n'est pas fini, non seulement parce qu'il y a un groupe de travail actif comme sur les déchets, mais surtout parce que les mesures doivent être appliquées et dimensionnées. En effet, si au final, il n'y a pas eu de décision spectaculaire en ce qui concerne notre groupe, et si le sujet de la santé a été moins évoqué dans le discours final que celui de la biodiversité et du climat, d'importantes avancées ont été faites.

Quelles avancées ?

Elles sont multiples. Un deuxième PNSE (Plan national santé environnement) a été lancé, avec,

cette fois, l'engagement de l'ensemble des parties prenantes. On peut y associer de nombreuses mesures proposées par le groupe et qui relèvent de cette logique sur le renforcement de la recherche, notamment en toxicologie (déjà dans le PNSE) et particulièrement sur la question des effets des nanotechnologies (plus nouvelle par rapport au PNSE). Il faut noter aussi le développement du champ des surveillances, sanitaires et environnementales.

On peut y associer les mesures sur la réduction des expositions, soit en renforçant le PNSE, soit plus affirmées comme la réduction des pesticides de 50 % qui figure dans le discours de clôture.

Concernant la limitation des pollutions, nous nous sommes mis d'accord sur des exigences très concrètes. Par exemple, en ce qui concerne la pollution atmosphérique, nous avons obtenu ce qui est fixé, à terme, pour les particules fines, un objectif de 10 microgrammes/m³ à ne pas dépasser et de 15 à plus court terme. Il s'agira de s'attaquer également aux problèmes des populations ou des lieux beaucoup plus exposés que la moyenne.

Un autre champ d'action concerne le principe affirmé dans le règlement européen REACH - qui oblige les industriels à trouver des produits de substitution aux substances « très préoccupantes » – qui a été étendu et globalisé. L'idée est de réfléchir non seulement à la substitution des produits à risque, mais aussi au remplacement des procédés industriels, voire au changement des usages, quand cela s'avère nécessaire. Les aspects économiques ont été aussi mis en avant.

Quel a été le rôle de l'INERIS dans ces débats ?

Nous sommes intervenus, par exemple, pour préciser les enjeux techniques et sanitaires de l'imprégnation des milieux, ou l'état de l'art sur les prévisions des dangers pour l'homme et l'environnement. En matière de priorités de recherche, nous étions à même, pour restreindre la présence de perturbateurs endocriniens dans l'environnement, de rappeler la nécessité d'établir une « liste positive » des substances concernées. Cette liste

n'existe pas, au contraire des cancérogènes (et malgré les critiques que l'on peut apporter à cette dernière). Même chose lors de la discussion sur l'opportunité d'une réglementation spécifique concernant la présence des nanotechnologies dans l'environnement : c'est l'INERIS qui souligne qu'il faut d'urgence adapter les tests utilisés traditionnellement pour tester les substances à échelle nanométrique. Par ailleurs, dans le domaine de la qualité de l'air intérieur, l'INERIS et le CSTB ont remis une contribution commune visant notamment à renforcer les travaux de recherche et l'appui technique aux acteurs de la surveillance de la qualité de l'air sur la thématique de l'air intérieur. De même, le LCSQA intégrerait comme nouveau partenaire le CSTB pour élargir sa mission auprès des AASQA.

Qu'est-ce que le « Grenelle » va changer pour l'INERIS ?

D'ores et déjà le processus du « Grenelle » a rappelé l'importance d'une capacité d'évaluation scientifique et technique, et l'INERIS a été régulièrement évoqué dans ce rôle. Une reconnaissance scientifique est acquise sur les questions de qualité des milieux (avec une reconnaissance spécifique sur le milieu air), mais aussi sur les grands projets en toxicologie et en écotoxicologie, initiés depuis deux ou trois ans en collaboration avec différents organismes, tel l'Inserm.

Pour autant, le « Grenelle » nous conduit aussi à bouger. L'accent mis sur l'économie et la substitution nous oblige à accroître notre implication sur le sujet. Quant aux actions en santé de l'homme et de l'environnement, si l'on peut aussi être optimiste quant aux supports réels des actions, (le président de la République a déclaré que les crédits consacrés à la veille environnementale seraient multipliés par cinq), cela concerne à la fois les milieux, les matrices biologiques, l'épidémiologie, les « biomarqueurs » ou encore la surveillance des espèces dans les milieux naturels : bref une injonction forte pour l'INERIS à une démarche de partenariat renforcé avec nombre des 45 instances concernées par l'évaluation.