



En détail | Page 06
 Les produits chimiques
 soumis à l'analyse
 socio-économique



En équipe | Page 14
 Ecotoxicologie :
 les perturbateurs
 endocriniens
 sous observation

En débat | Page 16
 Nanomatériaux :
 exposition aux aérosols



INERIS

mag

L'ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE ET PRATIQUE
 DE LA MAÎTRISE DES RISQUES
 N°30 | Septembre 2012



Dossier | Page 08

LA SÉCURITÉ DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES

INERIS

maîtriser le risque |
 pour un développement durable |



Renforcer le dialogue avec la société

L'innovation est un moteur essentiel de la croissance.

Mais, au-delà de ce constat, surgissent des questionnements et se profilent des craintes face aux dangers que les nouvelles technologies peuvent engendrer. Les risques sont perçus de plus en plus de manière « indirecte », sans possibilité d'en appréhender facilement la réalité ou les conséquences. Comment anticiper les risques émergents et comment répondre aux inquiétudes de la société ? À ces questions, l'INERIS tente de répondre en accompagnant les industriels dans l'étude des risques très en amont du développement des nouvelles filières et des nouveaux produits. L'Institut intervient aussi dans un autre registre : expliquer ces nouveaux risques éventuels pour permettre aux citoyens de les appréhender plus facilement.

Dans ce magazine, plusieurs exemples illustrent ce positionnement stratégique de l'INERIS. Des travaux ont été développés pour prédire les effets des polluants chimiques et, notamment, ceux des perturbateurs endocriniens chez les espèces animales aquatiques. Dans l'attente d'une réglementation spécifique, l'Institut met à la disposition des industriels une démarche reposant sur des bonnes pratiques ou l'état de l'art. C'est le cas d'ELLICERT pour la sécurité des véhicules électriques. De même, pour les nanomatériaux, il a développé un référentiel de certification volontaire, Nano-Cert, qui prend en compte la sécurité au poste de travail (compétences et meilleures technologies disponibles de protection collective des opérateurs). Parallèlement, l'INERIS a élaboré, en partenariat avec le CEA et l'INRS, un guide permettant d'identifier une exposition d'un opérateur à un aérosol composé de particules de dimension nanométrique et de le caractériser.

Un autre axe stratégique de l'INERIS est illustré ici : l'importance accordée au dialogue avec les représentants de la société. Dans chacun des comités de pilotage des démarches de sécurité volontaires siègent des ONG ou associations de consommateurs. L'un des membres de la Commission d'orientation de la recherche et de l'expertise (Core) témoigne dans le dossier véhicules électriques. Cet organe de gouvernance rassemble plusieurs collègues (entreprises, ONG et associations, élus, syndicats, experts, membres de l'administration) et contribue aux orientations et aux priorités des programmes de recherche et d'expertise de l'Institut.

Vincent Lafèche
Directeur Général

04-05 | En vitesse

Consommation d'eau

Snecma consulte l'INERIS pour valider sa méthode de calcul de la consommation spécifique d'eau de ses ateliers de traitement de surfaces.

Plateforme PLAINE (Australie)

Présentation du processus de modélisation spatiale des données de sols à son application en santé-environnement.

Projet HEROIC à l'INERIS

Réunion d'experts européens pour faire l'état des lieux de l'évaluation des risques toxicologiques et écotoxicologiques.



06-07 | En détail

Produits chimiques

L'INERIS investit un nouveau champ disciplinaire : l'économie du bien-être, qui vise à évaluer les bénéfices sanitaires et environnementaux des stratégies de réduction des risques liés aux substances chimiques.

INERIS MAG est une publication de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques.

Parc Technologique Alata - BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte.
Tél. : +33(0)3 44 55 66 77 - Fax : +33(0)3 44 55 66 99.

Directeur de la publication : Vincent Lafèche – **Rédactrice en chef :** Ginette Vastel – **Chargée d'édition :** Noémie Egot – **Crédits photo :** A. Bouissou/MEDDE; M. Chantrelle/INERIS; DR/Arkema; DR/Renault; PHOTOPQR/Le Progrès/R. Mouillaud; G. Rolle/REA; W. Sanchez/INERIS; Thinkstock 2012 – **Infographie :** A. Dagan – **Conception et réalisation :** BABEL LiGARIS. Responsable éditoriale : N. Kharbache – **Directeur artistique :** É. Daumont – **Secrétaire de rédaction :**

P. Christol – **Maquettiste :** B. Boubé – **Iconographe :** M. Capera – **Rédaction :** Y. Brand, G. Martins, C. Merle, PEFC F. Montfort – **Imprimeur :** Imprimerie Comelli.

08-13 | Dossier

La sécurité des véhicules électriques

l'imaged

16-17 | En débat

Nanomatériaux

L'INERIS, en collaboration avec le CEA et l'INRS, a édité un guide dédié à l'émission et à l'exposition aux aérosols.



18-19 | En 3D

"Ma maison respire"

Un kit conçu par l'INERIS pour détecter les polluants intérieurs.



20 | Ensemble

UTC/INERIS

Un rapprochement pour développer les outils d'aide à la prédiction de la toxicité de substances dans l'organisme humain.



14-15 | En équipe

Écotoxicologie

Observation des troubles du développement et de la reproduction entraînés par les perturbateurs endocriniens chez les espèces animales aquatiques.



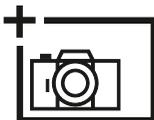
En picto - Au fil du magazine, découvrez les liens avec www.ineris.fr



L'intégralité d'une interview du magazine est diffusée en document audio sur www.ineris.fr



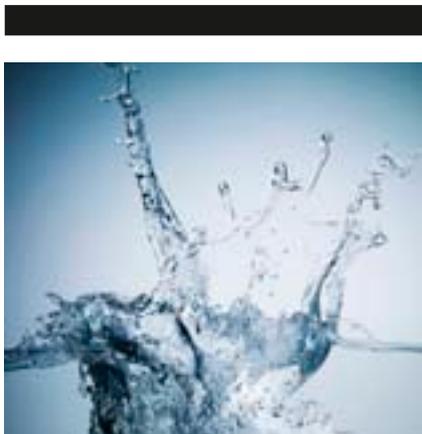
Un document enrichi (infographie...) est consultable de manière interactive sur www.ineris.fr



L'intégralité d'un reportage photo du magazine est en ligne sur www.ineris.fr



La vidéo d'une interview du magazine est disponible sur www.ineris.fr



Consommation d'eau: Snecma consulte l'INERIS

L'INERIS a récemment accompagné le site Snecma (groupe Safran) de Gennevilliers, dans les Hauts-de-Seine, afin de valider sa méthode de calcul de la consommation spécifique d'eau de ses ateliers de traitement de surfaces. Cet indicateur, demandé par la réglementation, est l'indicateur de performance essentiel de la consommation d'eau pour cette activité. L'INERIS a donné un avis critique sur la pertinence de la méthodologie mise en place au regard de la réglementation et des bonnes pratiques et sur la cohérence des éléments techniques pris en considération dans les calculs. L'INERIS a également émis un avis sur les résultats obtenus et sur les performances des ateliers de traitement de surfaces du site en matière de consommation d'eau, notamment au vu des meilleures techniques disponibles applicables à cette activité.

«La méthode de calcul du site a été récemment modifiée afin de la rendre conforme aux exigences de l'arrêté du 30 juin 2006 relatif aux installations de traitement de surfaces soumises à autorisation. Nous avons souhaité solliciter un expert afin de nous faire part de son avis et de ses remarques la concernant, avant d'en communiquer les résultats à la direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie (DRIEE). La collaboration avec l'INERIS a été très bénéfique, l'Institut nous ayant apporté l'expérience spécifique et pointue que nous recherchions dans ce domaine. Nous disposons désormais d'une meilleure maîtrise du sujet et d'une meilleure visibilité sur nos axes de progrès et sur la manière de les mettre en œuvre.»

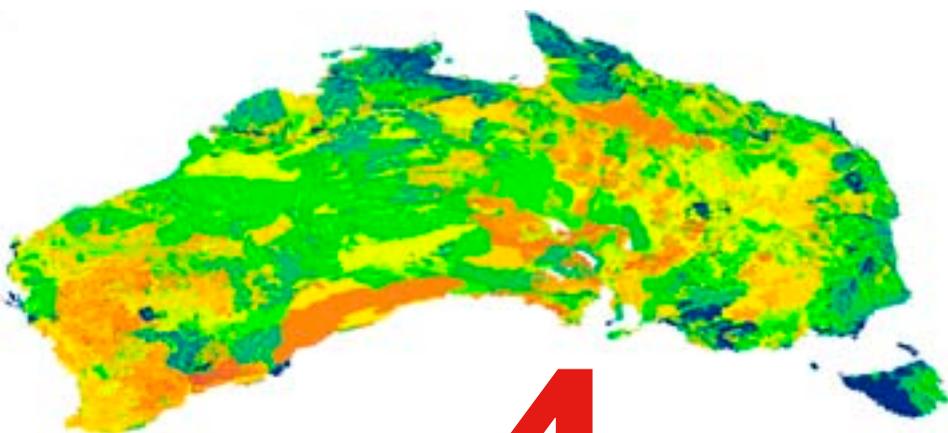
Antony Découen, coordinateur environnement et sécurité incendie Snecma

La toxicité du perchloréthylène révisée par l'EPA

L'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA) a publié, le 10 février 2012, un rapport de révision de l'évaluation de la toxicité du perchloréthylène et a classé cette substance comme « cancérogène possible » (*likely human carcinogen*). Le réexamen de plusieurs études récentes a conduit l'EPA à proposer de nouvelles valeurs toxicologiques de référence. Par exemple, une valeur plus protectrice pour des effets à seuil de 40 µg/m³ a été déterminée pour une exposition chronique par inhalation. L'évolution de ces données, suivies

avec attention par l'INERIS pour les pouvoirs publics depuis 2008, a amené à l'insertion d'un addendum sur la fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques de l'INERIS. La fiche est consultable sur le portail Substances chimiques (<http://www.ineris.fr/substances/fr/>). Les nouvelles données sont disponibles, dans leur intégralité, sur le site de l'EPA (http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showQuickView&substance_nmbr=0106).

Plateforme PLAINE: l'INERIS présente ses travaux en Australie



◀ **Julien Caudeville**, ingénieur de l'unité Impact sanitaire et expositions, a présenté, le 10 avril 2012, à Sidney (Australie), ses travaux de recherche sur la plateforme

intégrée pour l'analyse des inégalités environnementales (PLAINE) à la communauté scientifique « Digital Soil Mapping–DSM » (cartographie numérique des sols). Cette communauté est à l'origine de la « pédométrie », discipline scientifique qui utilise les mathématiques et les méthodes statistiques pour étudier la distribution et la genèse des sols. Sa présentation avait comme double objectif :

- de montrer comment les données spatiales de sols étaient utilisées pour spatialiser les inégalités environnementales relatives au risque sanitaire ;
- d'évaluer la part des incertitudes des données de sols sur les résultats de la modélisation finale.

4

Nombre d'éléments traces métalliques (ETM) analysés dans le cadre d'une étude pilote évaluant la faisabilité de la plateforme PLAINE (nickel, cadmium, chrome et plomb).

Présenter le processus complet de modélisation spatiale des données de sols à son application en santé-environnement (y compris les incertitudes générées) a été perçu comme une innovation majeure. Julien Caudeville a reçu, à cet effet, le prix des meilleurs travaux de recherche de DSM 2012, qui feront l'objet d'une future publication. Ce séjour fut aussi l'occasion de nombreux échanges scientifiques ouvrant des possibilités de collaboration futures.

Plus d'info sur http://www.pedometrics.org/dsm_oz/



Projet HEROIC

Réunion d'experts européens à l'INERIS

Les 12 et 13 avril 2012, au siège de l'INERIS, s'est tenue une réunion d'experts internationaux pour faire l'état des lieux de l'évaluation des risques toxicologiques et écotoxicologiques. Cette réunion a été organisée par Alexandre Pery, responsable de l'unité Modèles pour l'écotoxicologie et la toxicologie à l'INERIS, dans le cadre du projet européen HEROIC*. Elle a réuni des experts européens (scientifiques et industriels) autour de quatre groupes de travail :

- évaluation intégrée des risques,
- identification des dangers,

- évaluation des effets des mélanges,
- évaluation de l'exposition.

Les travaux réalisés en groupes ont permis non seulement de dresser l'inventaire critique des méthodes et modèles actuellement disponibles, mais aussi de proposer une vision de l'évaluation du risque de demain et des voies pour la mettre en œuvre de la façon la plus efficace possible. En marge de ces travaux, la participation d'une dizaine d'experts de l'INERIS et les visites d'installations en toxicologie et écotoxicologie (les mésocosmes, en particulier) ont permis de positionner

l'expertise de l'INERIS dans ces domaines au cœur des réseaux européens, scientifiques, réglementaires et industriels, préoccupés par l'impact des substances chimiques sur l'homme et son environnement.

**Financé par l'Union européenne, le projet HEROIC vise à animer une réflexion sur les pistes d'amélioration et de convergence des évaluations des risques pour l'homme et les écosystèmes exposés à des substances chimiques (produits industriels, produits cosmétiques, substances pharmaceutiques, biocides, pesticides).*

Agenda

Assises nationales des risques technologiques

La cinquième édition se tiendra le 11 octobre 2012 à Gayant Expo, à Douai (59). L'INERIS interviendra au cours d'une séance plénière et de deux ateliers.

Plénière 2: Facteurs humains et organisationnels. Les hommes au cœur de l'organisation. Intervention de Vincent Laflèche, directeur général.

Atelier 2: Risques technologiques

et risques naturels. Les risques industriels: quand la nature s'en mêle. Intervention d'Agnès Vallée, ingénieur de l'unité Démarche intégrée d'analyse et de gestion des risques.

Atelier 3: Plan de prévention des risques technologiques. Du débat public à la maîtrise de l'urbanisation: comment développer un territoire et accompagner les riverains? Intervention de Chabane Mazri, ingénieur de l'unité Démarche intégrée d'analyse et de gestion des risques.

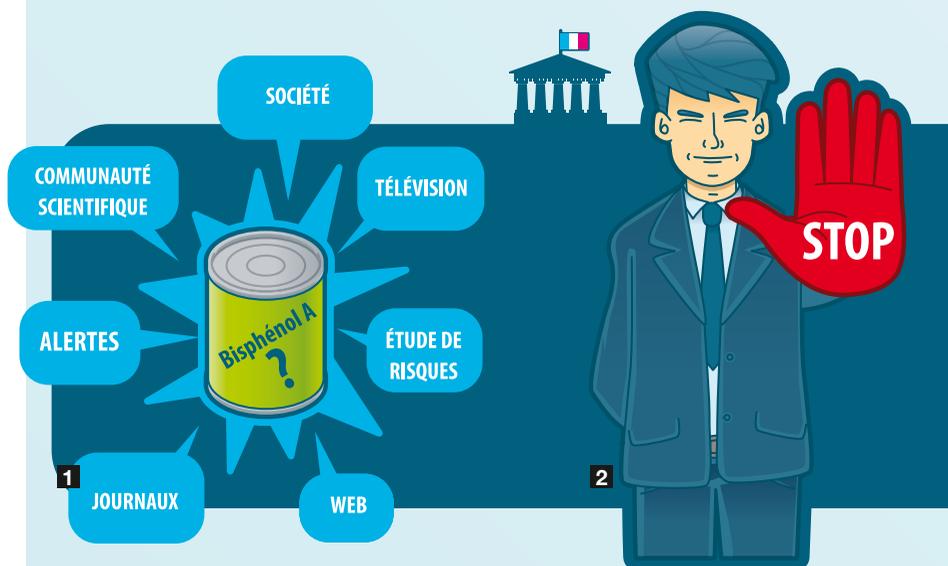
Plus d'infos sur <http://www.assises-risques.com/edition-2012.html>

Rendez-vous à Pollutec

L'INERIS sera présent au Salon Pollutec, du 27 au 30 novembre 2012, à Lyon Eurexpo (69). L'Institut accueillera les visiteurs dans le secteur Risques, hall 3, stand E154, et proposera tous les jours des conférences sur l'actualité de ses domaines d'expertise sur le forum Risques et management environnemental.

Les produits chimiques passés au crible de l'analyse socio-

Créée en 2008, l'unité Économie et aide à la décision de l'INERIS analyse les enjeux économiques des risques sanitaires et environnementaux des produits chimiques présents, et des stratégies de gestion. Ainsi, elle identifie non seulement les solutions alternatives et leurs coûts pour l'industrie, mais aussi les bénéfices qu'elles pourront apporter à la santé du citoyen et à l'environnement. Ce faisant, l'INERIS investit un nouveau champ disciplinaire: l'économie du bien-être, qui vise à évaluer les bénéfices sanitaires et environnementaux des stratégies de réduction des risques liés aux substances chimiques.



1- Connaissances scientifiques, niveau de risque et alerte latente

Nos sociétés, aujourd'hui, s'inquiètent des facteurs potentiels de risque sur la santé et se montrent vigilantes. Les technologies émergentes, le développement de nouvelles molécules suscitent un débat d'idées et mobilisent les scientifiques. Le niveau d'alerte fluctue selon les avancées scientifiques ou la médiatisation du produit chimique concerné.

2- L'intervention du politique

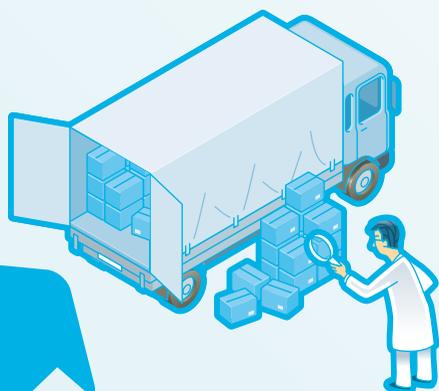
À l'écoute des inquiétudes et en l'absence de certitudes, le politique cherche à limiter les risques sanitaires. Il peut, à ce titre, exiger la création et l'élaboration d'un cadre réglementaire.

3- Étude des filières industrielles: la remontée de la supply chain

Afin d'objectiver les enjeux, les économistes et ingénieurs de l'unité réalisent des études par filière ou par substance. Ils évaluent les possibilités et les coûts – de substitution, de reformulation, de mise en œuvre, d'administration – induits par différents scénarios à tous les échelons des filières industrielles. Ils collectent l'information par des enquêtes, des interviews et des échanges constants avec le monde industriel. Ils évaluent aussi l'intérêt pour l'environnement et la santé d'un recours à des alternatives, en prenant en compte leurs inconvénients éventuels.



économique

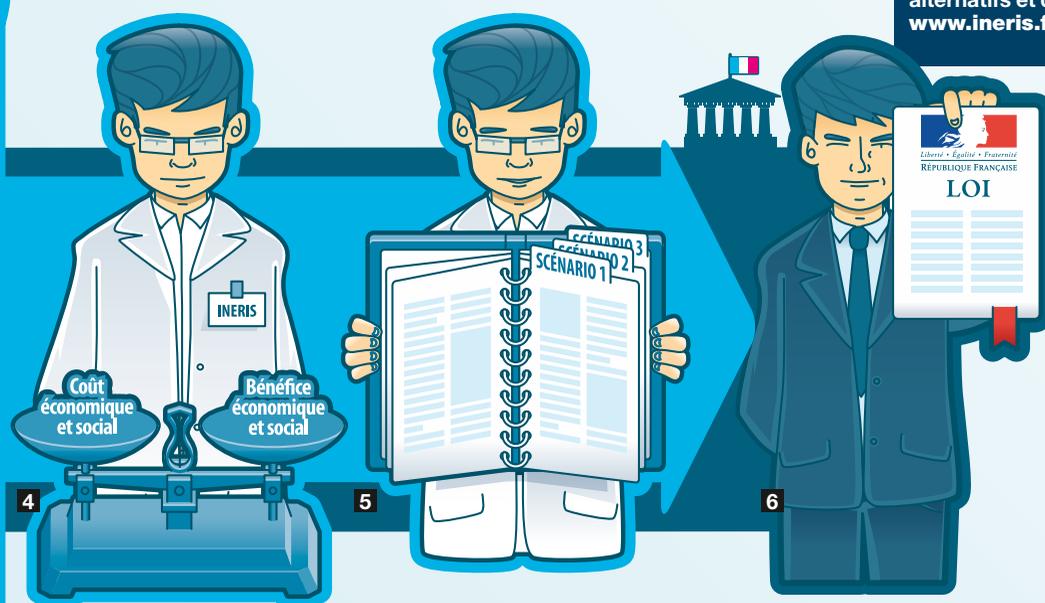


6 mois

Temps nécessaire pour effectuer une enquête socio-économique. Ce délai resserré permet une prise de décision rapide.

À savoir

Pour collecter les informations nécessaires à l'enquête sur le bisphénol A, les chercheurs ont lancé un site Internet collaboratif. Destiné aux acteurs industriels, il leur permet de mieux connaître les substances et matériaux alternatifs et des éléments de coûts. www.ineris.fr/substitution-bpa



4-5- Analyse socio-économique: l'évaluation des coûts et des risques

L'INERIS envisage différents scénarios et étudie l'impact économique de leur mise en œuvre, dont les coûts et bénéfices respectifs – sur les plans industriel et sanitaire. Il en tire les indicateurs d'aide à la décision, qui pourront être consultés par les parties intéressées (pouvoirs publics, industriels, associations, etc.).

6- Élaboration du cadre réglementaire

Les scénarios, analyses socio-économiques et évaluation des risques de l'INERIS permettent aux pouvoirs publics de disposer d'éléments objectifs et de légiférer en toute connaissance de cause.



Le PDF de cette infographie est consultable sur www.ineris.fr



Sommaire | P. 9-13 En France comme à l'international, l'INERIS est consulté pour son expertise sur les risques liés aux véhicules électriques. P. 11 ELLICERT, gage de sécurité et de qualité. P. 13 Le point de vue de nos experts.

Les contributeurs



Guy Marlair,
réfèrent technique
du pôle Substances
et procédés
de l'INERIS.



**Christian
Michot,**
directeur de
la certification
de l'INERIS.



**Benjamin
Truchot,**
responsable de l'unité
Incendie ventilation
de l'INERIS.

La sécurité des véhicules électriques

Le développement de la filière des véhicules électriques s'inscrit dans la politique de réduction des gaz à effet de serre. L'INERIS accompagne cette innovation aux côtés de l'ensemble des parties prenantes.

En 2009, le gouvernement français a lancé un plan national pour favoriser le développement de voitures 100 % électriques et hybrides rechargeables, dits «véhicules décarbonés». Les objectifs : favoriser la recherche et l'émergence de l'offre industrielle, stimuler la demande et déployer les infrastructures de recharge. Le marché est évalué entre 20 et 50 milliards d'euros par an à partir de 2020 en Europe et prévoit, d'ici la même période, la circulation de 2 millions de ces véhicules en France. Les véhicules électriques représentent donc une opportunité environnementale et économique indéniable, cependant tempérée par les risques liés à l'émergence de toute nouvelle technologie dans ses phases de production, de stockage, d'acheminement et d'utilisation.

Dans le cas des véhicules électriques et hybrides, les travaux de R&D menés par les constructeurs portent notamment sur les batteries, éléments essentiels, afin de développer une filière à grande échelle à coûts raisonnables et intégrant la maîtrise des risques.

Le développement des nouvelles technologies ou filières, pour relever les défis du développement durable, ne peut être mis en œuvre que si les risques potentiels sont maîtrisés suffisamment en amont du développement de la filière. C'est précisément

dans ce cadre que l'INERIS a mené une série de travaux de recherche et d'expertise, en 2010 et 2011, et a pu définir pour 2012 et au-delà sa feuille de route dans le domaine.

Hiérarchiser les risques pour mieux les maîtriser

En appui au ministère chargé de l'Écologie, l'INERIS a produit plusieurs études en 2010. Le rapport intitulé «Analyse préliminaire de risques» (incendie, explosion, effets toxiques) a été produit à partir des données disponibles, puis complété par de nombreux entretiens avec les différents acteurs du domaine (industriels, pouvoirs publics, réseaux de recherche).

L'analyse s'est fondée sur une étude préalable conduite conjointement par l'Union technique de l'automobile du motocycle et du cycle (Utac) et l'INERIS, laquelle portait sur le contexte réglementaire et normatif dans lequel s'inscrit la filière véhicules électriques. «*Depuis leur conception jusqu'à leur recyclage – entre fabrication, transport, stockage, recharge et utilisation –, cette analyse préliminaire identifie 50 scénarios de risques potentiels tout au long du cycle de vie des batteries et les hiérarchise afin de cibler les travaux à mener en fonction de leur priorité*», explique Guy Marlair, réfèrent technique du pôle Substances et procédés de l'INERIS. Parmi les 50 scénarios ●●●

Zoom sur

STEEVE, une plateforme d'expérimentation

Installée au siège de l'INERIS, dans l'Oise, la plateforme d'expérimentation scientifique «Stockage d'énergie électrochimique pour véhicules électriques» (STEEVE Sécurité) permet de réaliser des essais à échelle réelle sur la sécurité des batteries à différentes étapes de leur cycle de vie. Ces prestations s'adressent aux industriels, entreprises et collectivités. Elles se déclinent en trois volets : recherche, expertise et certification. Portée par plusieurs partenaires* et dotée de 4,8 M€, STEEVE Sécurité reçoit le soutien du Réseau sur le stockage électrochimique de l'énergie (RS2E).

*Université de Picardie Jules-Verne (UPJV), CNRS, EDF et INERIS.

Les étapes clés

Fin 2009

Le ministère chargé de l'Écologie demande une analyse préliminaire des risques de la filière véhicules électriques.

2010

L'INERIS remet au ministère son rapport « Analyse préliminaire des risques » ainsi que trois autres sur l'accidentologie, les technologies et la réglementation.

2011

19 JANVIER
Le ministère chargé de l'Écologie présente aux acteurs de la filière les problématiques prioritaires identifiées suite à l'étude « Analyse préliminaire des risques ».



Essai "abusif" de batterie à l'INERIS.

●●● accidentels identifiés, 12 ont été retenus pour leur « criticité ». Ils concernent, en particulier, les étapes du stockage, de la recharge et de l'utilisation des batteries, et notamment le scénario 25, qui porte sur les risques accrus en milieu confiné. En l'absence d'étude dans ces milieux, comme les parkings souterrains, les risques ne peuvent être exclus. L'INERIS a ainsi procédé, en 2011, à de premières simulations numériques et à des calculs préliminaires. « Les simulations ont montré que, en raison du dégagement de fumée, les feux de véhicule thermique et de véhicule électrique présentaient la même problématique : la chute très rapide de visibilité en milieu confiné, qui rend l'évacuation délicate », constate Benjamin Truchot, responsable de l'unité Incendie ventilation de l'INERIS. Ces résultats partiels ont conduit l'Institut à réaliser, pour les constructeurs automobiles, une campagne d'essais incendie à échelle réelle sur les véhicules électriques, à l'automne 2011.

Sécurisation du stockage de l'énergie

Les batteries électrochimiques, et plus particulièrement les batteries lithium-ion, font l'objet de recherches de longue date à l'INERIS, par ailleurs membre actif du Réseau sur le stockage électrochimique de l'énergie (RS2E), qui réunit des laboratoires publics, des industriels et des établissements scientifiques.

Ses travaux se traduisent, notamment, par des partenariats avec l'université de Picardie Jules-Verne (UPJV) et sont financés par la région Picardie. Baptisé « BatteryNanoSafe », le premier programme – conduit également par le Laboratoire de réactivité et de chimie des solides, unité mixte du CNRS et de l'UPJV – a porté sur la sécurité des nouvelles générations de batteries lithium-ion incorporant des nanomatériaux. Une thèse sur l'évaluation des risques thermiques et toxiques liés à l'utilisation de ce type de batteries en conditions abusives (influence de la nature des composants, de l'état de charge, du vieillissement, etc.) a été encadrée par l'Institut et l'université de Picardie dès 2007. Le but : mieux comprendre les mécanismes conduisant, dans des situations extrêmes, à des emballements thermiques. « Ces travaux ont permis, entre autres, de mettre en évidence qu'en cas de combustion accidentelle de la batterie, la toxicité des fumées émises est notamment liée à la production de fluorure d'hydrogène. Cette production est rendue possible par la présence de fluor dans certains composants de batteries lithium-ion (dont le sel de l'électrolyte), indique Guy Marlair.

Autre programme coordonné par l'université de Picardie en partenariat avec l'INERIS, le projet DEGAS. Démarré en 2011, il vise à développer des tests de sécurité liés à l'émission de gaz toxiques par les batteries

lithium-ion, dans la continuité du programme BatteryNanoSafe, qui avait mis en évidence le dégagement d'une quantité d'acide fluorhydrique. Les résultats expérimentaux permettront, notamment, d'obtenir différentes échelles de risques (émission de gaz toxiques, emballement thermique, explosion, etc.). Ils seront utilisés par l'INERIS dans le cadre de ses travaux futurs sur la plateforme d'expérimentation scientifique STEEVE Sécurité, dont la construction est en cours d'achèvement sur son site de Verneuil-en-Halatte, dans l'Oise.

Au niveau européen, le projet HELIOS (*High Energy Lithium-On Storage*) rassemble plusieurs constructeurs automobiles, des centres d'expertise et de recherche et un fabricant de batteries (SAFT) en vue d'améliorer la fiabilité, la sécurité et les performances des batteries à haute énergie conçues pour les véhicules électriques de série. De son côté, l'INERIS y est chargé de l'évaluation de la sécurité des batteries via des tests menés à plusieurs échelles, allant du laboratoire à la grandeur réelle.

Dans un futur proche, la feuille de route 2012-2019 de l'INERIS prévoit l'évaluation des risques liés au stockage électrochimique pour les applications mobiles autres que le véhicule électrique (voiture, scooter, vélo, etc.), c'est-à-dire les transports en commun, ainsi que pour les applications stationnaires (énergie éolienne ou photovoltaïque). ●●●

FÉVRIER-MARS

Tenue de trois groupes de travail chargés d'approfondir les problématiques prioritaires identifiées.

À PARTIR D'AOÛT

Campagne d'essais incendie packs et véhicules électriques.

INERIS
SOLUTIONS



ELLICERT, gage de sécurité et de qualité



Bertrand Largy,
chef de service métier
à la direction des Groupes
motopropulseurs
électriques Renault

D'une façon générale, et surtout dans le cas d'innovations en rupture, nos ingénieurs se documentent sur la recherche et les expertises auprès des instances faisant référence normative ou ayant trait à l'état de l'art. Or, l'INERIS bénéficie d'un savoir-faire reconnu en ce qui concerne les essais de sécurité sur les véhicules électriques et les batteries de traction. Renault avait donc connaissance de ses travaux. Par ailleurs, Renault a pour principe, pour consolider son niveau de confiance, d'avoir un avis externe sur ses travaux de développement, en particulier sur des sujets à enjeux comme les véhicules électriques. La montée en compétence de Renault

s'est faite avec la maîtrise de la propriété industrielle, par exemple sur la sécurité, en même temps que nous avons développé nos produits. Par la suite, certains travaux avec l'INERIS ont été conduits, une fois nos objectifs atteints, afin de consolider ce niveau de confiance. La collaboration avec un partenaire extérieur tel que l'INERIS nous est apparue alors comme un moyen d'acter l'avance de Renault, et donc l'avance française dans ce domaine: nous sommes le premier constructeur à avoir commercialisé une gamme de voitures électriques de grande série. Renault est intéressé par la labellisation ELLICERT. C'est un gage de qualité, de sécurité et de reconnaissance d'un état de l'art atteint. Renault travaille avec l'INERIS sur les modalités pratiques de mise en œuvre de cette labellisation en se préparant d'emblée au fait que le niveau de l'état de l'art augmentera en continu pour devenir les standards futurs.

2

millions de véhicules électriques et hybrides rechargeables prévus à la circulation en France d'ici 2020.

(Source: Plan national pour le développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables.)

Zoom sur

Les différents types de véhicules et de batteries

À ce jour, trois types de véhicules électriques se propulsent grâce à l'énergie électrique:

- le véhicule électrique dont le moteur est alimenté par une batterie rechargeable;
- le véhicule hybride, associant moteurs thermique et électrique, peut se recharger de diverses manières (générateur électrique couplé au moteur thermique, récupération d'énergie mécanique, etc.);
- le véhicule hybride rechargeable, dont la batterie peut être rechargée sur le secteur électrique.

Les batteries électrochimiques permettant de convertir l'énergie d'une réaction chimique en électricité semblent les plus prometteuses. Parmi elles, les accumulateurs en milieu organique (lithium-ion, en particulier) représentent une meilleure solution à court et moyen termes par rapport aux accumulateurs en milieu aqueux (plomb-acide, nickel-cadmium). Leurs performances restent cependant à améliorer tant en termes de capacité d'autonomie et de durée de vie que de sécurité.



Tests d'accumulateurs Li Ion sur un véhicule électrique.

En savoir plus



– Rapport d'analyse préliminaire des risques

<http://www.ineris.fr/ressources/recherche/iddoc=1859>

– Approche de la maîtrise des risques spécifiques à la filière véhicules électriques

<http://www.ineris.fr/ressources/recherche/iddoc=1858>

– Accidentologie relative aux systèmes de stockage d'énergie électrochimique: analyse du retour d'expérience

<http://www.ineris.fr/ressources/recherche/iddoc=1860>

– Approche de la maîtrise des risques spécifiques à la filière véhicules électriques – Données de base sur les différentes technologies de stockage d'énergie

<http://www.ineris.fr/ressources/recherche/iddoc=1861>

– Éléments de synthèse suite aux premiers essais incendie réalisés à échelle réelle

<http://www.ineris.fr/centredoc/note-ve-dec2011-1324651467.pdf>

– Synthèse de modélisation préliminaire de l'impact d'un feu de véhicule électrique en parking souterrain
<http://www.ineris.fr/centredoc/resume-rapport-modelisation-1324651405.pdf>

●●● Un acteur européen et mondial

Dès octobre 2010, l'INERIS a proposé la certification volontaire ELLICERT (ELECTrique LITHIUM CERTification) aux diverses parties prenantes (fabricants de batteries, constructeurs automobiles et gestionnaires de flottes, experts nationaux de la filière, une organisation de consommateurs et une association d'élus).

« Le référentiel ELLICERT vise à accompagner les industriels dans leurs phases de démonstration, de tests, d'expérimentation et de déploiement. La certification prend en compte la sécurité des cellules et packs⁽¹⁾ et le degré de fiabilité du Battery Management System (BMS), qui joue un rôle essentiel en matière de sécurité lors de la marche et des opérations de charge à l'arrêt. C'est une avancée importante, dans la mesure où le processus réglementaire n'est pas encore défini », remarque Christian Michot, directeur de la certification de l'INERIS.

L'Institut, pour élaborer ce référentiel qu'il souhaite promouvoir à l'international, a associé Underwriters Laboratories (UL), organisme de certification et de contrôle américain à vocation internationale. UL produit des normes de références dans le domaine de la sécurité des batteries. En Europe, un accord de collaboration a été signé avec le Health and Safety Laboratory (HSL), agence gouvernementale britannique traitant des questions de santé et de sécurité. Des rapprochements sont également en cours en Allemagne avec BAM, office fédéral de recherche et d'essais sur les matériaux, et TÜV SÜD, organisme d'essais, de contrôle et de certification. En Suède, l'INERIS est en

contact étroit avec SP, institut public de recherche technique.

Du point de vue de l'évaluation des risques, l'INERIS est partenaire, depuis 2006, de la fondation de recherche américaine Fire Protection Research Foundation (FPRF)⁽²⁾. Il a été le seul organisme français sollicité pour participer à une étude d'évaluation des risques incendie liés aux batteries lithium-ion. Cette collaboration va se poursuivre autour de mesures de prévention et de protection pour le stockage des piles et batteries lithium-ion. Ces nombreuses collaborations au niveau mondial et européen témoignent ainsi du rôle joué par l'Institut dans le domaine de la sécurité des batteries électriques. Les travaux réalisés confirment le positionnement stratégique de l'INERIS et la reconnaissance de son expertise en matière de recherche sur la sécurité des véhicules électriques, en France et à l'international.

1- Ensemble de modules de cellules.

2- FPRF est spécialisée dans la sécurité incendie, en collaboration avec des scientifiques et des laboratoires dans le monde entier.

- 17,5

millions de tonnes d'émissions de CO₂ prévus d'ici 2020 en France, grâce au développement des véhicules électriques. (Source: Plan national pour le développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables.)

“Une analyse globale des risques en cas d’incendie”



Benjamin Truchot, responsable de l’unité Incendie ventilation de l’INERIS.

L’INERIS a procédé à deux séries d’essais à grande échelle afin de produire une analyse comparative du comportement des véhicules électriques et classiques.

Cette campagne expérimentale s’inscrit dans un contexte plus large d’analyse des conséquences d’un incendie dans un milieu confiné – parkings souterrains ou tunnels. Ces essais ont porté sur quatre véhicules : deux berlines et deux de petite taille, identiques. Pour chaque type,

un véhicule était équipé d’un moteur diesel, avec un réservoir plein de carburant, l’autre d’un moteur électrique alimenté par une batterie lithium-ion. Les essais se sont déroulés à l’INERIS sur une plateforme expérimentale dédiée, la galerie incendie. Grâce à son dispositif de canalisation de l’ensemble des fumées, cet équipement permet de procéder à une analyse très fine des gaz de combustion avant que ceux-ci ne transitent par un système de traitement limitant les conséquences environnementales de ces essais. Les résultats ont montré que la toxicité des fumées et la cinétique (évolution de la puissance instantanée du feu) différaient peu entre les deux types de véhicules. La cinétique des véhicules électriques s’est révélée moins rapide que celle anticipée dans les modélisations préliminaires,

en raison notamment du comportement spécifique de la batterie après son insertion dans le véhicule. Le comportement différent de la batterie seule et dans le véhicule témoigne de la nécessité de réaliser des essais à l’échelle réelle. Cela permet une vision globale du phénomène. Les essais en laboratoire, indispensables pour la connaissance du comportement individuel des éléments, ne prennent pas en compte les effets de masse ou d’agencement des combustibles, ce qui influe sur le comportement de l’incendie. Pour les constructeurs, il est important d’intégrer dans le développement d’un produit cette notion d’analyse et de quantification des risques. Ces essais à différentes échelles, complémentaires, contribuent à maîtriser l’impact sur les personnes, donc sur la société.



“Détecter et prévenir les risques, c’est éviter les crises”

En général, la mise au point d’une innovation se fait sous pression. Il faut aller vite, réussir les premiers, prendre les brevets, écarter tout ce qui peut gêner. De ce fait, l’évaluation des risques que peut entraîner une innovation est mal venue. On en arrive à des situations où, comme dans les nanotechnologies, les produits de masse sont déjà sur le marché sans que les risques éventuels n’aient été étudiés. Ce qui provoque une grande méfiance des Français, qui ont déjà connu plusieurs

crises sanitaires et environnementales. L’une des missions de l’INERIS est justement d’accompagner l’innovation en détectant très en amont les éventuels risques afin de se donner les moyens de les réduire. Ainsi, dans le cas des véhicules électriques, l’étude de l’INERIS sur les risques aux différentes étapes de la vie du véhicule va permettre de mieux identifier où se situent les enjeux. Cette démarche est d’intérêt collectif pour préserver les citoyens et ne mettre sur le marché que des produits sûrs.



Maryse Arditi, pilote du réseau Risques et impacts industriels, France Nature Environnement, membre de la Commission d’orientation de la recherche et de l’expertise (Core)



Écotoxicologie

Les perturbateurs endocriniens

Les hormones naturelles ou de synthèse, les substances pharmaceutiques, les pesticides contaminent les milieux aquatiques. Depuis une vingtaine d'années, on sait que ces contaminants environnementaux, regroupés sous le terme de perturbateurs endocriniens, entraînent des troubles du développement et de la reproduction chez les espèces animales aquatiques.

Les impacts des perturbateurs endocriniens, certes prouvés, posent néanmoins de multiples questions : quelles sont les substances responsables de ces perturbations ? Comment agissent-elles sur les organismes vivants et sur l'environnement ?

Au sein de l'INERIS, l'unité Écotoxicologie, dirigée par Jean-Marc Porcher, combine des études *in vivo* et *in vitro* réalisées en laboratoire, en mésocosmes et sur le terrain pour mieux comprendre et cerner l'effet de ces polluants émergents. L'équipe a élaboré des approches innovantes et complètes sur les perturbateurs endocriniens, basées sur des modèles biologiques, comme le poisson zèbre, des lignées cellulaires ou des poissons de rivières.

Phase 1 : l'observation *in vivo*

Comprendre les effets des perturbateurs endocriniens nécessite d'analyser leur action à différents niveaux d'organisation biologique, et en particulier sur l'expression des gènes, qui jouent un rôle fondamental dans la reproduction. Ces analyses peuvent être facilitées par des modèles de poissons zèbres transgéniques, dans lesquels les gènes cibles sont couplés avec un gène qui émet une fluorescence verte lorsqu'ils sont activés. Ce « marquage », facilement quantifiable, permet de tester rapidement un grand nombre de substances. C'est ce que nous avons fait à l'aide d'un poisson zèbre transgénique, qui nous a permis de déceler l'impact des perturbateurs endocriniens sur l'aromatase cérébrale, une enzyme clé de la neurogénèse. Dans le cadre d'un travail collaboratif avec l'Institut de recherche sur la santé, l'environnement et le travail (IRSET), nous avons pu montrer qu'en plus d'affecter le développement des gonades et les capacités de reproduction, de nombreux polluants perturbateurs endocriniens affectent le cerveau au cours du développement embryonnaire. C'est une avancée fondamentale dans notre compréhension du mode d'action de ces perturbateurs sur les vertébrés. De plus, ce bio-essai répond à de nombreuses attentes en termes de criblage du potentiel perturbateur endocrinien des substances chimiques *in vivo* : spécificité, rapidité et simplicité de la mesure.

François Brion



Talents

1 François Brion, unité Écotoxicologie, coordinateur du programme NEMO.

2 Selim Aït-Aïssa, unité Écotoxicologie, responsable des approches cellulaires.

3 Wilfried Sanchez, unité Écotoxicologie, chargé des biomarqueurs.

4 Prélèvement de poissons, en collaboration avec l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (Onema).

5 Analyse *in vivo* de la fluorescence chez des poissons zèbres transgéniques exposés à une substance.



sous observation

Phase 2: la vérification *in vitro*

De manière complémentaire aux études exposées précédemment, nous conduisons des expérimentations *in vitro*. Les cultures cellulaires permettent de comparer les hypothèses et les résultats obtenus *in vivo* sur les embryons de poisson zèbre. Nous développons ainsi des modèles de cellules de poisson zèbre dérivés de tissus cibles des perturbateurs endocriniens, comme le foie ou les gonades. Ces modèles nous permettent d'appréhender les mécanismes d'actions intracellulaires de différentes molécules chimiques. Cette démarche vise à valider et à consolider le comportement d'une substance vis-à-vis de mécanismes clés de la régulation du système endocrinien.

Ensuite, l'automatisation des tests cellulaires et leur grande sensibilité en font des outils de choix pour le criblage de molécules ou d'échantillons environnementaux (eaux, sédiments). Dans ce but, nous utilisons un panel cohérent de modèles cellulaires (cellules de poisson et humaines), qui nous permet d'établir des profils d'activités prenant en compte différents modes d'actions, en lien notamment avec la perturbation endocrinienne ou avec les effets de type dioxine. Nous pouvons ainsi identifier le type de toxique présent au sein des multiples composés chimiques qui contaminent l'environnement.

Cette démarche, rapide et pratique, est très importante, car nous découvrons sans cesse de nouveaux perturbateurs endocriniens, issus d'une multitude de sources de contamination et présents dans notre environnement.

Selim Aït-Aïssa

Phase 3: créer une application pratique

Les outils présentés précédemment sont aussi utilisés sur le terrain pour connaître la contamination des rivières. En complément, nous étudions les effets de cette contamination sur les poissons qui y vivent. Pour cela, nous utilisons des biomarqueurs. Ces outils peuvent être comparés à une « prise de sang » chez l'homme. L'objectif est de faire un bilan de santé des poissons pour connaître l'impact de la pollution. Dans ce cas, nous intégrons les effets des perturbateurs endocriniens parmi les autres stress que subissent les organismes aquatiques.

Aujourd'hui, les biomarqueurs restent encore peu utilisés en routine, au niveau national et international, pour la surveillance de l'environnement. Les recherches de l'INERIS ont pour objectif de montrer l'intérêt de ces outils et leurs possibles applications. Ils pourraient alors être intégrés dans les programmes de contrôle prévus par la directive-cadre sur l'eau, afin d'améliorer la surveillance des milieux aquatiques.

Wilfried Sanchez



“Les nanomatériaux sont à l’origine de nombreuses questions quant aux risques qu’ils sont susceptibles d’engendrer chez l’homme et dans l’environnement.”

Nanomatériaux : émission et exposition aux aérosols

On entend par nanomatériau un matériau qui, du fait de sa structure nanométrique (un nanomètre: 10^{-9} m ou un milliardième de mètre), voit ses propriétés physiques ou chimiques modifiées, améliorées, adaptées, voire en présence de nouvelles. La production industrielle des nanomatériaux se développant rapidement, il est probable que les situations d’exposition professionnelle se multiplient tout au long de leur cycle de vie: conception, production, utilisation et fin de vie. L’exposition des travailleurs intéresse aussi bien le secteur de la recherche que le secteur industriel. À ce jour, il existe peu de données d’exposition professionnelle publiées. L’Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail considère les nanomatériaux comme l’un des 10 principaux risques émergents sur les lieux de travail.

Comment innover sans engendrer de nouveaux risques pour la santé et l’environnement? «*Dans le cas des nanomatériaux, cette question du risque sanitaire et environnemental s’est posée dès le début des recherches*», expose Olivier Le Bihan, de l’unité Innovation pour la mesure de l’INERIS. Indépendamment des efforts de recherche sur le long terme dédiés à l’étude de la toxicité potentielle des produits, il est apparu indispensable de donner les moyens d’agir aux acteurs de terrain afin d’étudier l’exposition potentielle des travailleurs (en recherche ou production). Cela suppose la mise au point de méthodologies accessibles à tous.

Dans ce contexte d’incertitudes caractérisé par une évolution constante des connaissances, un partenariat a été mis en place entre l’INRS, le CEA et l’INERIS. Il s’agit d’élaborer une approche harmonisée en matière de caractérisation des potentiels d’émission et d’exposition aux aérosols en milieu de travail lors d’opérations utilisant des nanomatériaux. L’INERIS et le CEA ont bénéficié d’un financement *via* le plan national NANO-INNOV, mis en place par le ministère de l’Enseignement supérieur et de la Recherche en 2009.

Des bases de travail et un champ d’application

L’approche développée dans le guide issu de cette collaboration* repose sur les expériences de chaque partenaire en matière de mesurage des aérosols dans divers environnements de travail, une analyse bibliographique de la littérature scientifique et l’expertise pluridisciplinaire des membres (évaluation du risque chimique, mesure de l’exposition aux agents chimiques, métrologie des aérosols). Par ailleurs, cette approche s’est naturellement enrichie grâce à la participation des membres du groupe à des travaux similaires menés au niveau international. Elle peut s’appliquer à tous les environnements de travail, laboratoires de recherche ou industries, à toutes les substances chimiques présentes dans l’air sous forme d’aérosol, quelle que soit la taille des

particules. Dans cette approche, l’exposition du travailleur ne fait pas référence à la norme EN689, car, à ce jour, il n’existe pas de méthode de caractérisation reposant sur un mesurage réalisé au moyen d’échantillonneurs individuels positionnés dans la zone respiratoire. Le guide est destiné à des utilisateurs professionnels avertis en matière de métrologie d’atmosphère, d’évaluation d’exposition professionnelle et sur les risques liés aux nanomatériaux.

L’approche se présente sous la forme de cinq étapes: une **étude dite «de situation»** vérifiant la présence de nanomatériaux dans le procédé visé, une **étude d’évaluation initiale** permettant d’exclure ou non une exposition potentielle, une **réflexion** sur la nécessité et la faisabilité de poursuivre une campagne de mesurage, la **campagne de mesurage** proprement dite (deux niveaux: caractérisation de base et caractérisation expert), enfin l’**analyse des résultats**. Cette démarche est destinée à évoluer, eu égard à la nature émergente de la base de connaissances et dans la perspective d’une harmonisation au niveau international.

Un partenariat gagnant-gagnant

L’une des grandes inconnues concernant les nanomatériaux est l’évaluation de leur impact potentiel sur la santé, notamment en cas d’inhalation, qui constitue la principale voie d’exposition. «*C’est pourquoi nous avons prioritairement focalisé nos efforts sur la*

Un guide sur la prévention des risques aérosols



Olivier Le Bihan,
ingénieur de l'unité
Innovation pour
la mesure de l'INERIS

Qu'est-ce qui a motivé la réalisation de ce guide méthodologique, et comment s'est-elle déroulée ?

Entre 2005 et 2008, l'INERIS a commencé à développer des actions de production de connaissances relativement en amont. Tout en poursuivant ces efforts, nous avons, à partir de 2008, développé en parallèle une approche plus pragmatique, fondée sur l'aide à l'innovation *via* la prévention. En matière d'hygiène professionnelle, nous avons multiplié les appuis sur le terrain auprès d'industriels et nous avons développé

des outils de laboratoire complémentaires : d'une part des outils de mise en suspension de poudre qui permettent d'étudier le risque d'aérosolisation des nanomatériaux au poste de travail (« nano-pulvéulence ») ou « nano-dustiness » ; d'autre part, des chambres d'émission qui permettent de caractériser l'émission d'aérosol pour des procédés de ponçage, perçage, etc. Enfin, sur la base de notre expérience de mesurage de terrain et dans le cadre du projet NANO-INNOV, nous avons constitué et animé un groupe de travail INRS-CEA-INERIS dédié à la production d'un référentiel sur le mesurage. Cela a abouti à l'édition de ce guide, après dix-huit mois d'élaboration, lequel a impliqué six personnes, issues des trois organismes partenaires, et une dizaine de contributeurs supplémentaires. Destiné principalement aux responsables HSE des entreprises, il est accessible en ligne et gratuit.

Comment les destinataires peuvent-ils utiliser ce guide ?

Notre guide apporte des réponses à environ 70 % des situations que les responsables HSE peuvent rencontrer. Le pragmatisme et la praticité ont conduit notre travail : nous ne proposons que des matériels faciles à utiliser, portables et économiques. Nous aidons ainsi les industriels à prévenir au maximum tous les risques d'aérosolisation des nanomatériaux, c'est-à-dire leur dispersion dans l'atmosphère, donc la possibilité que l'opérateur les inhale accidentellement. C'est une application du principe de précaution, car nous ne disposons pas encore du recul nécessaire pour établir la toxicité et les effets sur la santé des nanomatériaux. Ces acteurs peuvent également faire intervenir des professionnels comme l'INERIS, qui mettront en œuvre la méthodologie dans le cadre d'une prestation.

Sur le terrain

De nouvelles solutions de protection

Que vous apporte le guide récemment édité par l'INERIS et ses partenaires ?

C'est un ouvrage très pragmatique et facile d'utilisation, auquel Arkema a d'ailleurs beaucoup participé. Nous effectuons des recherches sur les nanomatériaux depuis 2001-2002, mais nous ne disposions pas, jusqu'ici, de documentation de référence au niveau HSE. Dans le cadre du projet NANOSAFE 2*, qui s'est déroulé sur la période 2005-2008, nous avons commencé – notamment avec l'INERIS, l'Inserm et le CEA – à structurer connaissances et procédures.

Comment avez-vous débuté vos travaux sur les nanomatériaux ?

Arkema a démarré sa recherche sur un pilote de laboratoire pour produire des nanotubes de carbone. À l'origine, nous avons adapté des procédures de confinement en usage dans l'industrie pharmaceutique : nos opérateurs, pour certaines opérations exposées, portaient des scaphandres !

Une solution lourde et inadaptée. Au fil du temps, grâce aux études conjointes, de nouvelles solutions ont émergé, comme la mise en pression négative des environnements de travail. Aujourd'hui, Arkema a un site pilote préindustriel de production de nanotubes de carbone, dans le Sud-Ouest, d'une capacité de 400 tonnes par an, à des fins de développement.

Quel bilan établissez-vous pour les démarches de prévention ?

Nous n'avons rien détecté d'anormal au niveau de la santé de nos opérateurs. Cependant, nous restons vigilants et appliquons des règles de prévention très exigeantes. L'Institut de veille sanitaire (InVS) est venu étudier nos protocoles, et nos standards étaient plus élevés que les leurs.

**Projet européen regroupant des industriels et des instituts de recherche, comme l'INERIS, autour de la production et l'utilisation sécurisées des nanomatériaux. <http://www.nanosafe.org>*



Daniel Bernard,
conseiller scientifique
pour les nanomatériaux,
Arkema (industrie
chimique), et président
de la commission de
normalisation
AFNOR X457
Nanotechnologies
et nanomatériaux

prévention de l'aérosolisation, reprend Olivier Le Bihan. Dans le guide, nos résultats en matière de mesurage et de métrologie ont été utilisés, et l'INERIS continue à effectuer des recherches sur ce sujet.»

En effet, l'une des difficultés pour appréhender les situations réside dans la nécessité de distinguer l'aérosol recherché (ou cible) de l'aérosol de fond. « Comment mesurer la concentration de nanomatériaux présents dans un environnement donné ? Quels sont les seuils de tolérance pour l'exposition

des opérateurs ? Répondre à ces questions nécessite de nombreuses campagnes menées in situ et dans toutes les configurations, souligne Olivier Le Bihan. Nos partenariats avec les industriels prennent donc tout leur sens. D'une part, ces derniers retirent un intérêt économique et stratégique à avoir accès à des résultats fiables ; d'autre part, leurs laboratoires et ateliers constituent pour les chercheurs que nous sommes "une expérience grandeur nature" à la hauteur de nos attentes.»

**Guide méthodologique INERIS-CEA-INRS : « Recommandations en matière de caractérisation des potentiels d'émission et d'exposition professionnelle aux aérosols lors d'opérations mettant en œuvre des nanomatériaux » - Décembre 2011.*



Guide accessible sur www.ineris.fr/centredoc/guide-methodologique-cea-ineris-inrs-v14-1334828211.pdf

Un kit pour détecter les polluants intérieurs



1 Le travail bibliographique Combiner simplicité, fiabilité et coût

En 2008, Caroline Marchand engage un travail bibliographique à spectre large pour lister les systèmes en usage. En moins d'un an, plus de 100 solutions disponibles dans le commerce sont étudiées et les résultats, consignés dans un rapport. Le constat : aucun système ne correspond à 100 % aux attentes du ministère. *« La plupart des dispositifs pertinents étaient destinés aux professionnels qui effectuent des campagnes de mesures, explique Caroline Marchand. Leur coût et/ou leur manipulation ne permettaient pas d'envisager une diffusion grand public. Aucun dispositif n'était vraiment clés en main ; nous devons donc revoir le cahier des charges et orienter notre travail vers une solution de packaging et d'intégration de tout en un, combinant plusieurs éléments. »*

Parallèlement à cette recherche bibliographique, l'INERIS commande une enquête à un cabinet spécialisé. Réalisée auprès d'un panel de 1 000 particuliers, elle va permettre d'évaluer le coût acceptable du kit. *« Nous voulions savoir quelle somme les particuliers étaient prêts à payer pour connaître la qualité de l'air de leur environnement. Le paramètre coût devenait donc déterminant dans l'identification d'un dispositif tenant compte d'un déploiement réaliste. »*

Les conclusions du rapport, transmis alors au ministère, préconisent une combinaison de différents éléments, le meilleur compromis entre simplicité, fiabilité, coût et manipulation.

2 La conception du kit Associer système de mesure et packaging

Le kit a été conçu avec une double fonction : il sert de support aux tubes durant le prélèvement et de colis préaffranchi pour l'envoi, après utilisation, au laboratoire d'analyses. C'est sur cette étape de packaging que porte essentiellement le travail de l'INERIS, les tubes servant à la mesure étant commercialisés par ailleurs (système radiello®). Le kit permet notamment de mesurer la concentration dans l'air de benzène et de formaldéhyde. En effet, ces substances font l'objet de valeurs guides pour l'air intérieur publiées en fin d'année dans un décret du ministère en charge de l'Écologie (décret n° 2011-1727). Trois autres molécules font aussi l'objet de mesures : le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes. Leurs concentrations respectives peuvent fournir des indices sur l'origine des émissions polluantes.

Le système de mesure utilisé permet d'obtenir une concentration moyennée sur plusieurs jours, minimisant l'impact des variations de concentrations ponctuelles de la journée, liées par exemple à l'aération de la pièce ou à l'utilisation de produits d'entretien. En fonction du temps de prélèvement et de la masse de polluant piégée sur les tubes, la concentration en polluants dans l'air est facilement calculable. Côté packaging, *« nous avons travaillé avec un bureau d'étude design à Lyon (EDDS), explique Jessica Quéron, en charge de ce volet dans le projet, tant sur le choix du carton et des encres utilisées que sur le pliage de la boîte, qui doit être solide et sans point de colle. Étant donné qu'elle sert de support aux tubes durant la mesure, il fallait s'assurer qu'elle ne comporte aucun polluant susceptible de fausser les résultats d'analyse! »* Ce travail a aussi permis de minimiser le nombre de manipulations relatif à la mise en œuvre du kit, afin de le rendre simple et pratique d'utilisation.

Comment identifier les polluants présents dans l'air d'une pièce et déterminer leur concentration? L'INERIS met au point un système accessible au grand public. Un kit est actuellement testé grandeur nature.

Deux tubes, bleu et jaune, dans une petite boîte en carton... Voilà à quoi ressemble le kit "Ma maison respire" que la ministre chargée de l'Écologie a présenté à la presse en janvier 2011. D'apparence simple, il a été conçu pour répondre à un cahier des charges fixé en 2008 par le ministère en charge de l'Écologie dans le cadre du Grenelle de l'environnement. Les attendus: un usage facile pour s'adresser aux particuliers, permettant une

mesure efficace et pertinente des principaux polluants, et un prix abordable. Ce projet, piloté par Caroline Marchand, appuyée par Jessica Queron pour la conception du kit – toutes deux ingénieures de l'unité Caractérisation des milieux de la Direction des risques chroniques –, est le fruit d'une collaboration interne à l'INERIS. Il s'est organisé en trois phases.



1 La mesure des polluants intérieurs s'inscrit dans le cadre du Grenelle de l'environnement.

2 La mise en œuvre du kit "Ma maison respire" est aisée.

3 La concentration en polluants est calculée en fonction du temps de prélèvement et de la masse piégée dans les tubes.

4 Les prélèvements sont envoyés pour analyse et les résultats transmis à l'INERIS.

3 Le déploiement S'appuyer sur l'expérience des particuliers

Au printemps 2011, l'INERIS disposait de 400 kits pour démarrer une phase de déploiement test chez l'habitant, par l'intermédiaire du réseau des conseillers en environnement intérieur financés par le ministère en charge de l'Écologie dans le cadre d'un appel à projets. Aujourd'hui, plus de 200 kits ont été déployés en France. Rattachés à des structures institutionnelles (hôpitaux, mairies, etc.) ou autres, 10 conseillers utilisent le kit chez des particuliers atteints de troubles sanitaires ou subissant des gênes à leur domicile. «*En nous appuyant sur eux, nous bénéficions d'un retour d'expérience direct sur l'acceptation du kit par les usagers et d'un accompagnement du résultat au particulier.*»

Une fois les prélèvements effectués, le particulier envoie le kit pour analyse. Les résultats sont ensuite transmis à l'INERIS, qui les valide avant diffusion aux conseillers quelques semaines après le prélèvement. Charge à eux de les commenter aux particuliers. Les premiers retours sont encourageants. «*Le kit plaît, y compris visuellement*, souligne Caroline Marchand. *Le document d'accompagnement fourni aux conseillers semble suffire pour délivrer une information claire sur les concentrations détectées.*»

Déployée jusqu'à la fin juin 2012, l'expérience donnera lieu à un retour complet en fin d'année. Il posera la question des modalités d'un déploiement à grande échelle et en direct vers les particuliers, des points de vente et du coût du kit qui, à l'heure actuelle, devrait être de l'ordre de 200 € (analyse des prélèvements compris). Un montant relativement élevé, mais, selon l'étude de 2008, le kit pourrait cependant séduire 7 % des usagers.

À savoir

Vers un kit meilleur marché

Depuis 2008, les solutions disponibles commercialement ont beaucoup évolué. Des start-up travaillent actuellement sur des systèmes permettant d'obtenir une information sur les concentrations de certains polluants dans l'air de manière plus rapide et moins onéreuse que le kit expérimental. L'INERIS suit donc avec attention ces développements.

Ensemble

UTC/INERIS - L'INERIS et l'université de technologie de Compiègne (UTC) développent les outils pour prédire la toxicité de substances dans l'organisme humain. Ces recherches sont notamment soutenues par le programme Tox/ÉcoTox de la Fondation UTC pour l'innovation, financé par l'INERIS. Elles sont destinées à aider les industriels à mieux répondre aux exigences de la directive REACH.

Des compétences associées en toxicologie prédictive

Parcours

2006

Premiers contacts entre l'INERIS et l'UTC – Projet de recherche soutenu par la région Picardie.

2007

Lancement des projets ANR SYSBIOX et μ HepaReTox.

2009

Lancement des premiers projets bipartites UTC-INERIS du programme Tox/ÉcoTox de la Fondation UTC pour l'innovation.

2010

Dépôt d'un brevet issu du projet SYSBIOX et parutions scientifiques.

2011

Lancement du projet ToxOnChip, qui devrait être conclu en 2014.

Définition

Biopuce
Organe bio-artificiel qui héberge un réseau de cellules sur une surface de 1 cm².

Qu'est-ce qui a conduit l'INERIS et l'UTC à se rapprocher?

Alexandre Pery, INERIS: L'UTC nous a contactés, en 2006, pour s'allier à une équipe capable de modéliser des processus *in vitro*. De notre côté, nous cherchions des biopuces (ou bioréacteurs) déjà mûres pour des tests, un équipement dont disposait l'UTC. Cette collaboration répond aux exigences qu'impose REACH aux industriels, car elles impliquent plus de tests et réduisent le recours aux animaux.

Éric Leclerc, UTC: L'INERIS figure parmi les rares entités qui maîtrisent la modélisation. Nous avions besoin de sa compétence reconnue dans ce domaine.

Quelles études conduisez-vous ensemble?

A. P.: Nous avons déjà mené deux projets financés par l'Agence nationale de la recherche (ANR) depuis 2007. Le premier, SYSBIOX, concernait l'impact de substances chimiques sur le métabolisme intracellulaire du foie. Il a abouti, en 2010, au dépôt d'un brevet sur une méthode de test.

É. L.: Le projet SYSBIOX innove à deux titres: il utilise une culture de cellules en biopuce et considère plus de paramètres que les méthodes actuelles. Le deuxième projet, μ HepaReTox, étudie les échanges des cellules de foie et de rein avec l'extérieur en présence d'une substance toxique.

A. P.: Depuis 2009, nous conduisons le projet ToxOnChip, financé par la Fondation de l'UTC. Il vise à tester de nouvelles cellules et à étendre le type de tissus pouvant être étudiés en biopuce. Nous allons ainsi dépasser l'horizon hépatique et reproduire plusieurs processus physiologiques au sein d'une seule biopuce.

É. L.: Cette recherche se situe en amont des deux premières. ToxOnChip a aussi pour but d'étudier les relations et interactions entre les gènes, les protéines, les métabolites (composés organiques intermédiaires issus du métabolisme) exprimés dans les biopuces en présence ou en l'absence de xénobiotiques. Notre but est de comprendre les mécanismes de toxicité qu'engendre un agent extérieur toxique.

Quels sont les perspectives et les autres aspects de votre partenariat?

A. P.: D'ici cinq à dix ans, nous pourrions construire des biopuces reproduisant les processus toxicocinétiques à l'œuvre dans un organisme humain.

É. L.: Ce partenariat a aussi débouché sur la création, à l'UTC, de la chaire de Modélisation mathématique et de biologie systémique pour la toxicologie prédictive. Elle est occupée par Frédéric Bois, qui partage ses activités entre les deux établissements. Les données et les résultats des trois études menées en commun nourrissent désormais le volet recherche de cette chaire.

Alexandre Pery,
responsable de
l'unité Modèles pour
l'écotoxicologie et la
toxicologie à l'INERIS.

Éric Leclerc,
chargé de recherche
au laboratoire
de biomécanique
et bio-ingénierie
du CNRS à l'UTC.

