

**DÉVELOPPEMENTS**

L'hydrogène en route  
vers l'avenir p. 12

La sécurité  
des installations  
industrielles p. 14

**ÉCHANGES**

Un pas de plus  
vers l'ouverture p. 16

# INERIS

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



**COMMENT PRODUIRE  
PROPRE ET SÛR ?**

# ÉDITO



**É**puisement prévisible des ressources terrestres, nécessité de préserver la qualité de notre environnement dans une perspective de développement durable tout en répondant aux besoins d'une population de plus en plus nombreuse... À défaut de

trouver les alternatives-miracles, tous ces facteurs doivent conduire les scientifiques, les experts et les industriels à coopérer pour rechercher des modes de production plus sûrs et plus propres pour notre planète et ses habitants.

L'impact conjoncturel de la crise économique et financière que nous connaissons ne doit pas nous en détourner, au contraire. Il est impératif d'être innovant tout en maîtrisant les risques liés aux processus de production.

L'analyse des risques, l'anticipation des conséquences de processus mal maîtrisés sont inscrites dans les gènes de l'INERIS. C'est pourquoi nous entendons être présents tant auprès des pouvoirs publics que des industriels pour apporter notre contribution au développement de technologies propres et sûres. Les espoirs investis, par exemple, dans les ressources énergétiques renouvelables comme les agrocarburants de deuxième génération, ou le biogaz issu de la méthanisation des déchets, ne peuvent s'affranchir d'une telle anticipation.

De même, pour assurer le développement des nanotechnologies il est nécessaire de répondre aux interrogations qui se manifestent. Principe de précaution aidant, il n'est plus possible de sous-estimer ou d'ignorer les risques d'exposition des producteurs comme des consommateurs. L'intégration de la notion de sécurité dès les premières étapes de la conception des installations industrielles, des procédés et des produits, facilitera l'acceptabilité sociale de secteurs industriels générateurs d'inquiétudes chez nos concitoyens.

L'innovation doit donc être étroitement liée à la recherche de la sécurité pour l'homme et l'environnement.

Les chercheurs et les techniciens de l'INERIS, porteurs de l'expertise et des savoirs pluridisciplinaires qui répondent à ces préoccupations citoyennes, se sont déjà engagés sur le chemin du développement durable. Et ils entendent y faire une longue route.

**Vincent Laffèche**  
Directeur général



# BRÈVES

## Le « Grenelle » en actes

L'avenant « Grenelle » du Contrat d'objectifs 2006-2010 de l'INERIS a été signé le 23 juin 2009 par Jean-Louis Boorlo, ministre de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, Chantal Jouanno, Secrétaire d'État à l'Écologie, Jacques Vernier, Président du Conseil d'administration de l'INERIS et Vincent Laffèche, Directeur Général. Cet avenant vise à organiser la mise en convergence des actions de l'INERIS avec les engagements du Grenelle de l'environnement.

La contribution attendue de l'INERIS répond à cinq objectifs principaux :

- expertiser les innovations éco-responsables (filiales, technologies, produits et procédés) ;
- développer la recherche en santé-environnement pour produire les outils de prédiction des dangers des substances et produits chimiques ;
- agir sur les substances et réduire les inégalités géographiques ;
- participer à l'élaboration d'un cadre national de l'expertise pluraliste pour le développement durable ;
- poursuivre une démarche éco-responsable.

## Interactions air et climat

**D**ans un rapport remis, en juin 2009, au ministère chargé de l'Écologie, l'INERIS met en évidence les effets de synergie et d'antagonisme entre les mesures de lutte contre le chauffage climatique et les actions destinées à limiter la pollution atmosphérique. Cette analyse s'appuie sur les acquis de la recherche mondiale qui ont clairement démontré l'existence de processus complexes d'action et de rétroaction entre les deux phénomènes. L'objectif de ce travail était de consigner l'état des connaissances sur le sujet afin de favoriser la mise en place de politiques combinées, tenant compte de ces interactions, pour améliorer l'efficacité voire le coût des mesures de réduction des émissions. Si de nombreuses décisions, telles que le renforce-

ment de l'efficacité énergétique ou l'incitation à l'éco-conduite, agissent positivement sur le climat et la qualité de l'air, le rapport de l'INERIS pointe les effets contre-productifs de certaines mesures. La combustion du bois pour le chauffage domestique et le recours aux biocarburants de première génération en sont deux exemples. Leur efficacité en matière de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> peut ainsi être contrebalancée par l'augmentation des polluants atmosphériques qu'ils génèrent. La poursuite de ce travail portera sur la réalisation d'une étude plus détaillée pour certaines mesures à enjeu. Pour celles-ci, l'analyse pourra inclure de façon simplifiée d'autres impacts sur l'environnement et des aspects socio-économiques.



# Journée Technique

## « Artifices de divertissement »

Les professionnels du secteur des artifices de divertissement (importateurs, distributeurs, fabricants, etc.) ont manifesté un vif intérêt pour la journée technique organisée par l'INERIS le 3 juin 2009, à Verneuil-en-Halatte. Cette rencontre avait pour objectif de faire le point sur différents aspects techniques et réglementaires concernant le transport et le classement des articles pyrotechniques, leur certification ou encore la prise en charge et l'élimination des déchets pyrotechniques. La transposition prochaine de la directive européenne 2007/23/CE relative à la mise sur le marché d'articles pyrotechniques a constitué le point focal des échanges entre experts et participants, afin de tenir compte et d'anticiper les évolutions futures. Cette directive vise à assurer la libre circulation dans l'Union européenne des articles pyrotechniques tout en garantissant leur conformité à des exi-

gences essentielles de sécurité. En effet, seuls les produits ayant satisfait aux tests de conformité réalisés par un organisme notifié pourront bénéficier d'un marquage CE et être mis sur le marché communautaire. L'INERIS qui est, en France, l'organisme référent pour l'agrément et le contrôle des artifices de divertissement, sera amené à jouer un rôle dans la mise en œuvre d'un processus européen de certification CE. Il mettra également à profit son expérience dans le domaine de la qualification des artificiers. Récemment, pour répondre à l'arrêté du 17 mars 2008, l'Institut a développé un référentiel relatif à l'évaluation des organismes de formation délivrant les attestations de stage et les carnets personnels de tir des personnes qualifiées pour la manipulation des artifices de la catégorie la plus élevée (K4).



## Intégration du BERPC à l'AFSSET

Le rapprochement entre l'AFSSET et le Bureau d'évaluation des risques des produits et agents chimiques (BERPC) est devenu effectif au 1<sup>er</sup> juillet 2009. Il s'agit d'un projet commun porté par l'AFSSET ainsi que par l'INERIS et l'INRS, les deux organismes fondateurs du BERPC, pour faire émerger un acteur unique de l'expertise publique réglementaire sur les

risques des substances chimiques. Dans le cadre du règlement « REACH », l'Agence se consacrera aux travaux d'évaluation réglementaire des substances et le service national d'assistance est intégré dans les missions de l'INERIS. L'Institut se concentre, en matière de toxicologie et écotoxicologie, sur la recherche appliquée et les études (mise au point de méthodes alter-

natives aux essais sur animaux, évaluation de terrain, guides techniques d'évaluation pour les entreprises ou les pouvoirs publics nationaux et européens). L'INERIS a reçu la mission de développer le pôle national applicatif en toxicologie et écotoxicologie, centre de référence national sur les méthodes alternatives en expérimentation animale.

## Pollution au Mercure : début d'une vaste campagne de mesures

L'usine Arkema de Jarrie est l'un des six sites industriels chloriers retenus dans le cadre de la campagne nationale multipartenariale de mesure de la concentration de mercure dans l'air, annoncée en mars 2009 par Chantal Jouanno. Les investigations autour du site isérois se sont déroulées en deux phases impliquant plusieurs partenaires dont Arkema, l'INERIS, France Nature Environnement et son représentant local la FRAPNA, l'Association pour le Contrôle et la Prévention de l'Air en Région Grenobloise (ASCOPARG) et la Diire Rhône-Alpes. À la suite d'une première phase d'intercomparaison des différentes technologies de mesure, menée dans les locaux de l'INERIS à Verneuil-en-Halatte, une campagne de mesures de terrain a été réalisée du 6 août au 11 septembre 2009. Coordinée par l'INERIS, cette campagne s'est opérée en sept points de mesures définis en concertation avec les différents acteurs et selon un protocole commun validé au niveau national. Les résultats sont attendus courant octobre pour la phase 1 et fin 2009 pour la campagne de terrain.



Mesures de la concentration de mercure dans l'air à Jarrie (Isère).

## Gestion de crise « air intérieur »

L'INERIS et le CSTB ont signé, le 6 juillet 2009, une convention portant sur la création d'une cellule d'appui à la gestion des situations d'urgence concernant l'air intérieur. Le dispositif permettra d'apporter aux autorités nationales, territoriales et municipales un appui rapide pour faire face aux urgences survenant

dans les lieux clos ouverts au public (établissements d'enseignement, établissements de soins, etc.). Un coordinateur et deux ingénieurs seront accessibles 24 h/24. Ils pourront s'appuyer sur l'expérience acquise au sein de l'INERIS et du CSTB pour conseiller des mesures d'urgence et réorienter vers les systèmes de

suivi de crise. La mise en place de cette cellule s'inscrit dans le cadre des actions préconisées dans le deuxième Plan National Santé-Environnement pour réduire les expositions aux substances ou agents dangereux, conformément aux engagements du Grenelle de l'Environnement.

## L'INERIS et les algues vertes

La problématique de la prolifération des algues vertes sur les plages bretonnes a été largement relayée par les médias ces dernières semaines suite à la mort d'un cheval et le malaise de son cavalier.

Le phénomène des « marées vertes » est la conséquence des rejets de nitrates dans l'eau par l'agriculture et l'élevage intensifs. La Direction de l'Eau et de la Biodiversité du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer a ainsi demandé à l'INERIS d'intervenir sur le terrain pour préciser les niveaux d'H<sub>2</sub>S et d'identifier d'éventuels autres composés toxiques émanant des amas d'algues vertes qui échappent au ramassage régulier et entrent en décomposition.

Les premiers résultats des analyses, réalisés par



l'INERIS, ont été transmis au ministère, complétés par des propositions de mesures de gestion du risque.

**Télécharger le rapport sur [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr).**

## Mieux gérer les déchets industriels dangereux

Fréquence d'accident plus grande, gravité accrue, l'analyse des incidents et accidents impliquant des déchets industriels dangereux (DID) milite en faveur d'une amélioration de leur gestion et de l'information concernant leurs dangers. Un rapport de l'INERIS, disponible en ligne depuis juillet 2009, présente les recommandations et bonnes pratiques en la matière. Conçu à des fins pédagogiques, le document revient en préambule sur les enseignements tirés de l'étude de l'accidentologie, la réglementation applicable et les méthodes de caractérisation des propriétés dangereuses des déchets. Il insiste, en particulier, sur la nécessité d'identifier les dangers présentés par les DID, dès leur production, afin d'op-

timiser le tri et d'adapter les mesures de prévention techniques et organisationnelles pour leur manipulation, leur stockage et leur traitement.

Rapport « Caractérisation des déchets industriels dangereux » accessible sur [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)



## Erratum

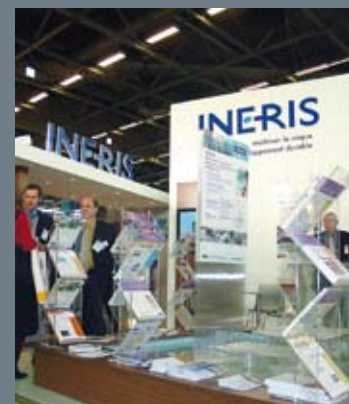
Dans le magazine n° 23 (juin 2009), p. 14, il fallait lire « l'INERIS est chargé d'appuyer le ministère chargé de l'Écologie dans la mise en œuvre du nouveau Règlement Général des Industries extractives ».

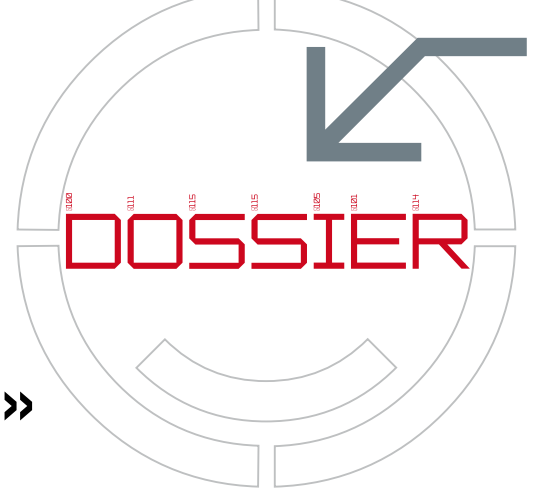
## Agenda

**L'INERIS partenaire de Pollutec du 1<sup>er</sup> au 4 décembre 2009, Paris Nord Villepinte**

Pour sa participation à l'édition 2009 du Salon Pollutec Horizons, l'INERIS mettra l'accent sur son savoir-faire dans l'accompagnement des innovations éco-responsables. L'évaluation des technologies, procédés et produits innovants et les nouvelles certifications dans ces domaines seront particulièrement mises en avant sur son stand (J20). Les visiteurs pourront également s'informer sur les nanotechnologies sur l'évaluation du risque d'explosions, la surveillance des eaux en temps réel, les moyens de mesure et de caractérisation des nanoparticules au laser (technique LIBS). De plus, les experts de l'Institut interviendront dans le cadre du Forum Risques et Management Environnemental (Stand T04). Ces conférences, en accès libre, porteront sur six thématiques : REACH et les méthodes alternatives, le risque « NaTech » d'accident industriel initié par des aléas naturels, la vulnérabilité du bâti aux effets de surpression dans le cadre des PPRt, l'évolution de la réglementation relative au risque foudre, les Meilleures Techniques Disponibles (BREF) et la certification des innovations éco-responsables. Une attention spéciale sera accordée aux risques liés aux atmosphères explosibles avec la création, cette année, d'un village ATEX, animé par l'INERIS en partenariat avec Eureka.

**Pour en savoir plus :**  
**Aurélié Prévot**  
Tél. 03 44 55 63 01  
**ou Marie-José Legrand**  
Tél. 03 44 55 64 33





« PRODUIRE PROPRE ET SÛR »

UN

IMPÉRIATIF

TECHNIQUE, ÉCONOMIQUE  
ET SOCIÉTAL

#### SOMMAIRE

- ▶ L'INERIS partenaire du projet IMPULSE | Page 6
- ▶ Focus : Valérie Bert, la phytostabilisation | Page 7
- ▶ Prédire le risque d'auto-oxydation des agrocarburants | Page 7
- ▶ Une mission « sécurité » confiée par Air Liquide | Page 8
- ▶ Focus : Wassila Benaïssa, l'intensification au service de la sécurité des procédés | Page 9
- ▶ Produire de l'hydrogène à partir de biomasse | Page 9
- ▶ Sécurisation de la filière de production du biogaz | Page 10
- ▶ Focus : Dominique Charpentier, certification des batteries de véhicules électriques | Page 11

La prise de conscience des limites d'un développement économique ignorant de ses impacts sur l'environnement, la santé, les écosystèmes et les ressources terrestres, appelle des ruptures technologiques et comportementales. Des ruptures qui imposent l'éco-conception de processus de fabrication et de produits propres et sûrs, et, par conséquent, l'introduction de cette dimension dès les premières études des projets. Les missions de l'organisme-expert en risques industriels qu'est l'INERIS en font un acteur-clé dans l'accompagnement de ces ruptures. Elles le conduisent également à innover pour contribuer au développement d'une gestion performante des ressources que représentent les déchets, dont la biomasse, et corriger par l'étude de traitements bio-adaptés les effets d'une activité industrielle ancienne tels que la pollution des sols. Ce faisant, l'INERIS s'attache, au travers de ses activités de recherche, de conseils, d'appui technique aux pouvoirs publics et de labellisation, qualification ou certification à fournir des réponses appropriées aux attentes des citoyens de plus en plus sensibles à la notion de sécurité environnementale.

### La phytoremédiation pour dépolluer les sols

Avant son élargissement, l'Union européenne des Quinze comptait environ 1,4 million de sites industriels pollués par des métaux (cuivre, zinc, plomb, cobalt, nickel, arsenic, cadmium), des solvants, des hydrocarbures et d'autres composés organiques (benzène, hydrocarbures aromatiques polycycliques notamment). Mise en œuvre depuis une vingtaine d'années, mais jusque-là considérée comme réservée au traitement des sols dégradés par des

hydrocarbures légers, la phytoremédiation fait appel aux propriétés dépolluantes de certaines espèces végétales. Parmi les cinq principaux procédés relevant de cette technique de traitement des sols, la phytoextraction consiste à utiliser des plantes capables de concentrer les polluants dans leurs parties aériennes tandis que la phytostabilisation agit par séquestration des métaux dans leurs racines. Ces procédés *in situ* apparaissent aujourd'hui comme une alternative économique et écologique aux techniques de décontamination thermique et physico-chimique à condition de disposer d'une maîtrise foncière à long terme en raison de la durée du traitement.

Ce double intérêt a convaincu l'ADEME de promouvoir et soutenir des travaux de recherche auxquels participe l'INERIS, en particulier un essai de phytostabilisation (projet PHYTOSTAB) sur des parcelles qui ont fait l'objet d'un ensemencement et d'un épandage d'additifs (lire p. 7). L'INERIS figure également parmi les partenaires du projet européen SUMATECS dont l'objectif principal était la réalisation d'un état de l'art sur les techniques de phytoremédiation et l'identification de nouvelles voies de recherche appelées à favoriser leur intégration dans les outils d'aide à la décision.

### Intensification des procédés de génie chimique

L'étude des accidents survenus dans les unités de synthèse de la chimie fine et de la pharmacie a mis en évidence le phénomène d'emballement thermique dû à une perte de contrôle de la température à l'intérieur des réacteurs discontinus (dits également réacteurs *batch*). Les recherches sur des concepts « intrinsèquement plus sûrs » - et

socialement acceptables - ont abouti à la mise au point de nouveaux procédés de génie chimique, dont des procédés fondés sur la technologie des réacteurs continus (lire encadré ci-dessous). Ces concepts, reposant sur l'élimination des dangers à la source, ont conduit l'INERIS à s'intéresser à la sécurité des réacteurs continus, compte tenu de l'enjeu qu'ils représentent pour l'industrie chimique en raison de leur compatibilité avec l'intensification des procédés (faire plus sur un espace réduit avec moins de solvants, de stocks et de transport), une solution technologique préconisée dès le début des années 80 par Colin Ramshaw, ingénieur au sein du groupe ICI, pour abaisser le coût d'investissement des installations industrielles.

De fait, l'acceptabilité sociale de la chimie - et par voie de conséquence son avenir - repose aujourd'hui en grande partie sur les notions de sécurité intrinsèque et d'intensification des procédés. Les travaux menés dans le cadre d'une thèse ont porté sur la méthodologie de transfert de la production d'un réacteur discontinu vers un réacteur continu. Cette recherche trouve toute sa pertinence dans le contexte de la participation de l'INERIS au projet européen IMPULSE dont l'objet est de proposer une méthodologie d'intégration d'équipements microstructurés aux systèmes existants de production chimique. Sollicité pour son expertise dans le domaine de la sécurité industrielle, l'INERIS a été leader dans la réalisation d'une méthode d'analyse de risques applicable aux installations multi-échelles.

### Agir pour la sécurité des nanotechnologies

Appelés à un important développement dans de nombreuses applications, les nanomatériaux suscitent des interrogations sur leurs impacts, sanitaire et environnemental. Depuis plusieurs années, des équipes de l'INERIS travaillent à l'évaluation de ces risques qui figurent parmi les trois thèmes de recherche assignés au nouveau Pôle national applicatif en toxicologie et écotoxicologie, lancé officiellement le 15 janvier 2009.

Dans le domaine de la métrologie des nanoparticules, en particulier, les travaux engagés visent deux objectifs : la mise au point de dispositifs de surveillance des particules dans l'air afin de sécuriser les procédés de fabrication et de protéger les opérateurs ; l'élaboration d'un système de vieillissement des nanoproduits afin de prévenir les risques de relargage des particules auxquels pourraient être exposés les consommateurs-utilisateurs.

Sur le premier volet, le couplage de la granulométrie et du LIBS (caractérisation spectroscopique des particules par impulsion laser) a permis d'avancer vers la mise à disposition d'une instrumentation innovante de contrôle stœchiométrique en ligne

### | L'INERIS PARTENAIRE DU PROJET IMPULSE |

Depuis 2003, le projet européen IMPULSE\* coordonné par le CNRS et réunissant 20 partenaires universitaires et industriels de 7 pays, constitue l'un des projets phares du secteur chimie du 6<sup>e</sup> PCRD de l'Union européenne.

Le projet IMPULSE repose sur la mise en pratique de deux concepts : l'intensification des procédés (réduire de manière significative la taille d'un procédé tout en conservant la même capacité de production) et la miniaturisation des procédés (faire mieux en plus petit, plus compact, plus précis). Pour y parvenir, le projet IMPULSE propose d'intégrer des microréacteurs ou équipements micro-structurés aux systèmes de production chimique.

L'objectif est de développer des équipements de productions multi-échelles et de donner aux industriels de la chimie (pharmacie, chimie fine, fabrication de produits grand public) les moyens de rendre leurs usines plus performantes, plus propres et plus sûres en adéquation avec un

environnement urbain. L'émergence de ces micro-technologies ouvre, en effet, de nouvelles perspectives dans les domaines de la sécurité et de l'environnement. A priori, la miniaturisation d'une partie des procédés de fabrication chimique devrait apporter un gain supplémentaire dans ces domaines.

A contrario, le caractère innovant de l'intégration de ces micro-technologies dans des procédés macro plus « traditionnels » pose de nouvelles problématiques. C'est pourquoi, dès le début du projet, les aspects de sécurité, santé et environnement ont été confiés à un groupe de travail transversal dont l'INERIS a été l'un des moteurs. Dans ce cadre, l'INERIS a apporté son expertise pour le développement d'une méthode d'analyse de risques (de type HAZOP-LIKE) applicable aux microréacteurs et procédés multi-échelles.

\* Integrated Multiscale Process Units with Locally Structured Elements.



**Valérie Bert, docteur ingénieur**  
**Unité Technologies et Procédés propres et durables**

« LA PHYTOSTABILISATION DES SOLS POLLUÉS EST EFFICACE »



Parcelle expérimentale de phytostabilisation.

Le site de Lallaing (Nord), sur la rive du canal de la Scarpe, est depuis 2002 l'objet d'un dispositif expérimental de phytostabilisation dont le but est d'étudier l'impact à long terme du traitement du sol pollué sur la mobilité et la biodisponibilité des métaux (cadmium, plomb, zinc, cuivre). Neuf parcelles sont constituées de sédiments pollués, prélevés dans la Scarpe puis mélangés à deux types d'additifs : l'amendement sidérurgique, riche en chaux, et l'hydroxylapatite, riche en phosphates. Ces parcelles ont été ensencées avec deux variétés de graminées vivaces à la croissance rapide, adaptées aux conditions climatiques de la région et peu exigeantes en nutriments : une fétuque et une canche.

Les observations réalisées jusqu'en 2006 ont montré l'intérêt de l'association entre la canche sélectionnée et l'un des deux additifs testés. Le traitement de phytostabilisation mis en place sur le site est-il pérenne ? Peut-on quantifier les effets positifs ou négatifs potentiels de la phytostabilisation sur la toxicité du sol ? Qu'en est-il de la compétition entre les espèces semées et les espèces spontanées qui peuvent coloniser ces parcelles ? Les bactéries présentes dans le sédiment jouent-elles un rôle dans la mobilité des métaux ? L'objectif du projet PHYTOSTAB est donc de

répondre à ces interrogations, et plus précisément d'estimer l'efficacité dans le temps des couples espèces végétales/additifs. Les critères retenus pour mesurer la performance de la phytostabilisation sont la qualité du couvert végétal, la concentration des métaux dans le sédiment, les eaux interstitielles et les parties aériennes des plantes. Des analyses du recouvrement végétal, des eaux interstitielles et du sédiment sont réalisées régulièrement. Les résultats provisoires (le programme s'achèvera à la fin de l'année) montrent que :

- le traitement par phytostabilisation est efficace, il réduit significativement la fraction échangeable de certains métaux présents dans le sédiment ;
- le comportement des deux graminées est différent, la fétuque a subi une forte régression au profit de plantes non semées (dont certaines de la même famille sont en cours d'étude) tandis que la canche résiste mieux et demeure majoritaire sur les parcelles où elle avait été semée ;
- le couvert végétal préserve les parcelles de l'érosion, donc s'oppose à la migration des polluants dans l'air et le sol.

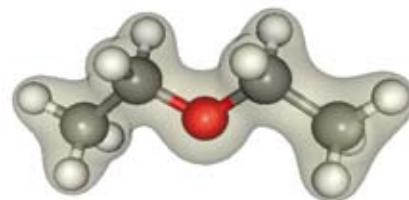
**| PRÉDIRE LE RISQUE D'AUTO-OXYDATION DES AGROCARBURANTS |**

Comme d'autres composés chimiques de type éthers, les agrocarburants (filiale biodiesel) sont susceptibles de devenir plus ou moins instables lorsqu'ils sont stockés sur de longues périodes au contact de l'air, exposés à la lumière ou bien encore à une température trop élevée. L'utilisation de produits inhibiteurs augmente la durée potentielle de stockage, mais cette solution empirique permet seulement de différer dans le temps les conséquences du phénomène d'auto-oxydation (peroxydation). Or il n'existe aujourd'hui aucune méthode prédictive permettant de caractériser un risque de décomposition lié à cette peroxydation. Dans la perspective d'une augmentation de la production d'agrocarburants, l'INERIS s'est associé à l'École nationale supérieure de chimie de Paris pour approfondir la connaissance du processus de peroxydation et développer un outil de prédiction fondé sur le couplage d'essais de laboratoire et de techniques de modélisation cinétique

et moléculaire\*. Pour Patricia Rotureau, docteur ingénieur à l'Unité Procédés et Énergies propres et sûrs, « ce travail d'évaluation de la stabilité et de la dangerosité des produits chimiques peroxydables au cours du temps est d'autant plus urgent que s'imposent à nous la généralisation du recyclage des produits chimiques ainsi que la montée en puissance des agrocarburants et de leurs substituts ».

\* « Étude des Risques liés à la Peroxydation des produits chimiques » Projet RIPER.

Molécule d'éther éthylique (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O) modélisée à l'aide de la chimie quantique (densité électronique).





Système de génération de plasma par laser pour la détection de nanoparticules dans l'air.

d'un procédé de fabrication de nanoparticules composites. Elle a également abouti à la validation d'un outil de détection des flux de particules d'une taille minimale de 40 nm en suspension dans un fond ambiant, soit un volume de 35 000 particules par m<sup>3</sup>. Bien qu'inférieure aux valeurs actuelles d'exposition, cette limite de détection pourrait encore être abaissée, estiment les chercheurs de l'INERIS.

### Sécuriser le captage du CO<sub>2</sub> à la source

Présentés comme l'une des solutions de réduction de l'émission de gaz à effet de serre, le captage du CO<sub>2</sub> sur ses lieux de production (centrales thermiques, cimenteries, raffineries...) et son stockage dans le sous-sol (gisements d'hydrocarbure abandonnés, anciennes mines, réservoirs aquifères) font l'objet de nombreux programmes de recherche impliquant l'INERIS. Les axes thématiques de ces programmes concer-



Installation-pilote d'oxycombustion.

nent notamment la sécurité du captage et du transport, l'évaluation des risques, la surveillance du stockage (mouvements de terrain, migration des gaz), et l'acceptabilité sociale de cette solution. Sur le site de Verneuil-en-Halatte, la Direction des Risques accidentels a mis en place depuis le mois de février une installation-pilote d'oxycombustion, technologie de captage considérée actuellement comme une des plus prometteuses en raison de ses performances et de son adaptabilité à une unité industrielle existante.

Le but des essais, qui y seront réalisés en collaboration avec le Laboratoire de Génie des Procédés de l'Université de Technologie de Compiègne (UTC), sera : d'étudier et d'optimiser l'exploitation de cette technologie ; d'analyser la composition des fumées issues de l'oxycombustion afin d'identifier et de quantifier leurs impuretés ; d'étudier les modes de fonctionnement dégradés et de développer des outils de calcul d'évaluation de leurs conséquences ; de définir les critères techniques et organisationnels de sécurité qui devront être pris en compte dès la conception des installations.

### Des pistes pour garantir la sécurité intrinsèque de l'hydrogène

Vecteur d'énergie dont l'utilisation n'émet aucun dégagement de gaz à effet de serre, l'hydrogène peut être obtenu à partir de l'eau, de la biomasse ou d'hydrocarbures, par différents modes de production : électrolyse, thermolyse ou vaporeformage.

Pouvoir répondre à 20 % de la demande énergétique en 2050, impose de développer de nouveaux modes de production économiques, propres et sûrs (actuellement 95 % de l'hydrogène est produit à partir d'hydrocarbures et de gaz naturel).

Une étude de l'INERIS, réalisée en 2008 à la demande du MEEDDM, décrit les différentes méthodes testées (géothermie, reformage autothermique, photo-électrolyse à partir de l'énergie solaire, thermochimie, utilisation de la biomasse...), liste les risques qui leur sont associés et cible les domaines dans lesquels des études expérimentales et des analyses de risques devront être menées afin de concevoir des procédés selon une approche de sécurité intrinsèque.

### Une initiative pour produire des batteries sûres

Le pari industriel du développement des véhicules électriques à partir de l'horizon 2010-2012 repose non seulement sur la baisse du coût des batteries et l'augmentation de leurs performances (autonomie, durée de vie des batteries), mais également sur la maîtrise des risques qu'elles pourraient représenter en cas de choc accidentel et/ou d'incendie. Conscients de cette condition *sine qua non*, plusieurs industriels, fabricants d'accumulateurs et constructeurs de véhicules, ont sollicité l'INERIS pour tester la sécurité de leurs équipements.

Pour approfondir le champ des connaissances ouvert par la perspective de croissance du marché des véhicules électriques, l'INERIS a été à l'initiative d'un projet de plate-forme expérimentale d'essais en association avec trois organismes de recherche (EDF, CEA, Laboratoire de Réactivité et de Chimie des Solides du CNRS), et en liaison avec quatre partenaires industriels (Michelin, Siemens, SVE-Dassault, Alstom) et un utilisateur (La Poste). L'ouverture à d'autres partenaires industriels est prévue prochainement.

Baptisée STEEVE (Stockage d'Énergie Electrochimique pour Véhicules Électriques), cette plate-forme aura pour mission de mutualiser les compétences et les moyens d'essais des différents partenaires pour contribuer au développement de la filière française du véhicule électrique, en liaison avec la plate-forme de Satory dédiée à l'évaluation de véhicules électriques et hybrides complets, et à la mise au point des systèmes électroniques de commande de ces véhicules.

Spécialiste de l'évaluation de la sécurité des produits et équipements industriels au cours de leur cycle de vie, l'INERIS aura pour charge de définir les protocoles, de réaliser les essais de sécurité adaptés au transport et à l'utilisation des batteries destinées à l'automobile, et d'en établir le référentiel de certification (lire p. 11). Le projet STEEVE a été pré-sélectionné dans le cadre d'un appel à plate-forme d'innovation au sein des pôles de compétitivité lancés par l'État et la Caisse des Dépôts.

## | UNE MISSION « SÉCURITÉ » CONFIEE PAR AIR LIQUIDE |

Coordinateur d'un projet de développement d'une unité-pilote de production d'hydrogène par vaporeformage du bioéthanol (BIOH<sub>2</sub> GEN\*), Air Liquide a chargé l'INERIS d'examiner, et le cas échéant de modifier, puis de valider l'ensemble des études de sécurité. « Nous avons contrôlé l'analyse des risques réalisée par le centre de recherche d'Air Liquide selon la méthode HAZOP, ainsi que les scénarios accidentels envisagés et les barrières de sécurité prévues », indique Samantha Lim-Thiébot, ingénieur à la Direction des Risques accidentels.

*Nous avons préconisé l'ajout d'événements pour évacuer d'éventuelles surpressions. »*

À cette mission d'expertise se sont ajoutées trois interventions : l'accompagnement dans l'étude ATEX des risques explosibles ; l'optimisation de la sécurité intrinsèque du pilote selon la norme CEI 61 511 ; la caractérisation de l'inflammabilité du mélange éthanol-eau selon différents taux de dilution.

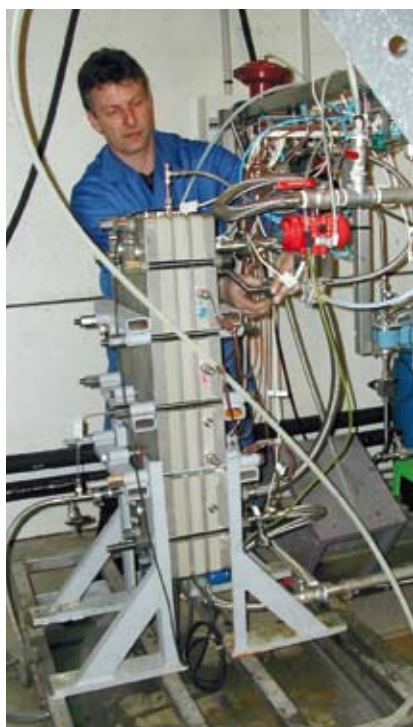
\* Parmi les autres partenaires : CTC (Centre de Transfert de Technologies Céramiques), LGPC (Laboratoire de Génie des Procédés Catalytiques).





**Wassila Benaïssa, docteur ingénieur**  
**Unité Caractérisation des substances et réactions**

« L'INTENSIFICATION AU SERVICE  
 DE LA SÉCURITÉ DES PROCÉDÉS »



Pilote d'étude : Open Plate Reactor (OPR),  
 Alfa Laval Vicarb, Laboratoire Génie  
 Chimique de Toulouse (2005).

Les accidents qui se sont produits dans les usines de Flixborough, Seveso, Bhopal et Toulouse (AZF) ont fortement contribué à dégrader l'acceptabilité sociale de l'industrie chimique. Ces catastrophes ont conduit, notamment dans l'Union européenne, à l'adoption de réglementations plus sévères et de dispositions relatives à la prévention des risques accidentels. Elles se sont également traduites par la recherche de nouveaux procédés de synthèse chimique rompant avec la conception des installations industrielles (mettant en œuvre essentiellement des procédés discontinus) qui ont permis de répondre à la croissance de la demande mondiale en substances chimiques, à partir des années 60, en particulier dans les secteurs de la chimie fine et de la pharmacie.

Appelée intensification des procédés, cette approche est à l'origine d'orientations technologiques nouvelles - réacteurs continus, miniaturisation des équipements, microréacteurs, procédés multifonctionnels tels que la distillation réactive... - dont la finalité est à la fois de réduire l'emprise foncière des unités industrielles, d'améliorer les performances de la production et d'introduire les notions de sécurité et de sûreté de fonctionnement dès le stade de la conception des installations. Sur ce plan, un des objectifs de ces nouvelles technologies est de réduire le risque d'emballement thermique dû au défaut de contrôle des paramètres de température et

de pression au sein des réacteurs discontinus. Techniquement, l'idée consiste à transposer les réactions chimiques dans des réacteurs de type piston continu avec une intensification du procédé de synthèse dans le but d'obtenir une meilleure maîtrise des échanges thermiques.

Afin de contribuer à cette mutation technologique et de garantir la fiabilité des procédés, une équipe de l'INERIS a travaillé, en collaboration avec le Laboratoire de Génie Chimique de Toulouse et le CNRS, au développement d'une méthodologie de conduite en sécurité d'un réacteur d'un nouveau type\*, en l'occurrence un réacteur à plaques pour la fabrication en continu de produits chimiques conçu par Alfa-Laval Vicarb, aujourd'hui commercialisé sous le nom ART®. Expérimentée à partir de la réaction d'estérification de l'anhydride propionique par le 2-butanol qui constitue un système particulièrement adapté à l'étude du risque d'emballement thermique, cette méthodologie d'analyse des risques de dérives a permis de vérifier le gain en sécurité apporté par ce type de réacteur continu. Ces travaux ont également permis de proposer un concept d'outils visant à évaluer l'inertie thermique et, par conséquent, le caractère intrinsèquement plus sûr des réacteurs continus par rapport aux réacteurs discontinus.

\* À l'issue de ces travaux, Wassila Benaïssa a rédigé une thèse qui a été présentée et soutenue le 7 décembre 2006 à l'Institut National Polytechnique de Toulouse.

**| PRODUIRE DE L'HYDROGÈNE À PARTIR DE BIOMASSE |**

Faire de l'hydrogène un vecteur énergétique propre en le produisant à partir de biomasse ou de déchets ? Soutenu par la Région Picardie, l'Agence Régionale de l'Innovation Picardie (ARI) et le Pôle de compétitivité Industries et Agro-Ressources, ce projet (« BIO-H<sub>2</sub> ») associe l'Université de Technologie de Compiègne, l'Institut LaSalle-Beauvais, les Sociétés Maguin, BIO3D, CVG, et l'INERIS. Le défi technologique qui réunit ces partenaires (avec le concours ponctuel du CEA et de l'IFP) est de démontrer que l'on peut « gazéifier dans une même installation avec des rendements élevés des biomasses indifférenciées tout en réduisant le coût de l'installation et en optimisant sa robustesse et sa sécurité ».

D'une durée de trois ans, le projet comprend trois étapes principales : la mise au point d'un procédé robuste de transformation de la biomasse en gaz de synthèse (syngaz) par pyro-gazéification étagée ; la production d'un mélange enrichi en hydrogène à partir du syngaz ; la séparation de l'hydrogène du mélange gazeux. Ces travaux de recherche nécessiteront la construction d'une installation de type pré-industriel.

Le rôle de l'INERIS sera de garantir la maîtrise des risques accidentels et environnementaux inhérents à cet équipement expérimental, d'établir des bonnes pratiques, et d'étudier la faisabilité de la capture de CO<sub>2</sub> en sortie de procédé.



Valorisation du biogaz en énergie électrique sur une installation industrielle.

## Sécurisation de la filière de production du biogaz

La méthanisation des déchets organiques présente un triple avantage : réduction des volumes, stabilisation des matières résiduelles, production de biogaz valorisable en différentes ressources énergétiques. À lui seul, le potentiel de la filière agricole équivaldrait à un gisement de 3 à 4 millions de tonnes équivalent pétrole par an. D'où l'intérêt de sécuriser les futures installations appelées à se multiplier.

Alternative « écologique » à l'enfouissement et à l'incinération, la valorisation des déchets organiques par méthanisation connaît un regain d'intérêt de la part des collectivités, des industriels du secteur et de certains agriculteurs. Cette technique de production de gaz fondée sur un processus biologique concerne aussi bien les ordures ménagères, les boues de station d'épuration, les déchets d'origine agricole ou en provenance des industries agro-alimentaires. La filière biogaz bénéficie, en outre, depuis 2006, de la revalorisation du prix de rachat de l'électricité produite à partir des ressources énergétiques non fossiles. Contenant du méthane dans des proportions variables selon l'origine et la composition du substrat (jusqu'à 90 %), le biogaz présente des risques identiques au gaz de ville : inflammabilité, explosivité, asphyxie. Il présente en plus des risques sanitaires dus à la présence de composés gazeux potentiellement toxiques, mutagènes ou cancérigènes. Cette dangerosité explique l'implication de l'INERIS et les sollicitations dont il a été l'objet depuis plusieurs années. « En 2004, la Société d'Équipement de la Région Montpellieraine nous a confié l'évaluation des risques d'explosion liés au stockage de biogaz dans le gazomètre d'une unité de traitement des déchets par méthanisation

alors en projet, indique Laurent Dupont, responsable de l'Unité Procédés et Énergies Propres et Sûrs. L'étude a notamment porté sur les caractéristiques physico-chimiques du biogaz, et les réglementations ICPE et ATEX applicables à ce type d'installation. » L'usine, implantée dans la ZAC Garosud, sera mise en service en mai 2009. Elle produira 14,4 millions de m<sup>3</sup> de biogaz à partir d'ordures ménagères collectées dans une zone de 500 000 habitants.

« Le développement de la filière de méthanisation des déchets et de la biomasse est freiné par l'absence de données suffisantes sur les risques qu'il représente pour l'environnement », explique Isabelle Zdanévitch, ingénieure à l'Unité Comportement des contaminants dans les sols et matériaux. Afin de combler ce déficit de connaissances, l'INERIS a apporté son concours à plusieurs études commanditées par les pouvoirs publics. Dans la perspective de l'injection du biogaz dans le réseau de gaz naturel, l'Institut a participé en 2005/2006 à une étude comparative des dangers et des risques liés au biogaz et au gaz naturel, ainsi qu'au groupe de travail réuni par l'AFSSET pour évaluer les risques sanitaires liés à l'injection de biogaz épuré. L'AFSSET a publié un avis favorable en octobre 2008.

### Du gaz à partir du fumier de cheval

Parallèlement aux travaux expérimentaux sur la caractérisation de l'explosibilité du biogaz, les ingénieurs de l'INERIS ont réalisé de nombreuses études pour le compte d'industriels. Ils participent également à la conception de plusieurs usines de séchage thermique des boues d'épuration. « L'intérêt est d'intervenir dès le lancement du projet sur le procédé et la conception de l'installation, à un stade où les problèmes potentiels peuvent être traités à la source, insiste Laurent Dupont, car la mise en place d'équipements de sécurité a posteriori se révèle souvent beaucoup plus coûteuse ». Cette approche a conduit en 2008 le ministère de l'Agriculture et la Coopérative d'Utilisation du Matériel Agricole (CUMA) de Chantilly à intégrer un expert de l'INERIS parmi les partenaires réunis pour étudier un projet d'unité de co-méthanisation aux côtés de l'INRA, de l'Institut Polytechnique LaSalle-Beauvais et du Centre technique du champignon de Distré. L'objectif de la CUMA est de valoriser 6 000 tonnes de déchets verts et 53 500 tonnes de fumier de cheval provenant de 120 centres équestres par la production de biogaz, de charbon végétal et de substrat pour la culture de champignons. « La mission des experts est d'étudier la faisabilité du projet, note Sébastien Evanno, ingénieur à l'INERIS. L'Institut est plus particulièrement chargé d'évaluer les risques d'explosion et les nuisances associés aux différents procédés industriels mis en œuvre, d'analyser les émissions olfactives et les risques sanitaires, de réaliser une analyse du cycle de vie des procédés et de comparer le bilan économique et écologique prévisionnel avec la situation présente. Ce projet est de nature à intéresser de nombreux producteurs de fumier équin en France, mais aussi en Irlande, en Italie et en Allemagne ».

### « Méthanisation à la ferme »

Désireux de promouvoir la « méthanisation à la ferme », une solution plébiscitée par le Grenelle de l'Environnement mais très peu développée en France où n'existent actuellement que trois installations, le MEEDDM a demandé à l'INERIS en 2007 une étude sur les risques accidentels liés à l'exploitation des méthaniseurs agricoles. Le principal objectif de cette étude était de définir les règles de sécurité garantissant une maîtrise des risques suffisante. Il est ressorti de ce travail que les deux principaux risques proviennent de son explosivité lorsque le biogaz est mélangé à l'air, ceci en raison d'une teneur en méthane supérieure à plus de 50 % en volume, et à la présence d'hydrogène sulfuré qui le rend toxique en cas de dispersion. « Ces risques peuvent être bien maîtrisés à condition de les intégrer dès la conception de l'installation et d'observer un certain nombre de règles de sécurité en phase d'exploitation », souligne Laurent Dupont qui a participé au groupe de travail mis en place sous l'égide du ministère de l'Agriculture pour établir un guide de bonnes pratiques à l'intention des promoteurs d'un



## Dominique Charpentier, directeur adjoint Direction de la Certification

# « L'INERIS TRAVAILLE À L'ÉLABORATION D'UNE CERTIFICATION VOLONTAIRE DE LA SÉCURITÉ D'USAGE DES BATTERIES DESTINÉES AUX VÉHICULES ÉLECTRIQUES »



Installation pour essai de chute et de choc sur les stockages d'énergie électrochimique.



Essai de combustion d'une batterie Lithium ion.

Depuis plusieurs années, l'INERIS réalise des tests de sécurité électrique et mécanique pour le compte des producteurs de batteries. En Chine, où l'on prévoit qu'en 2020, la moitié du parc automobile comprendra 50 % de véhicules à énergie électrique, d'importants acteurs comme le NOVERI (North Vehicle Research Institute) effectuent également des essais de cette nature sur la base de protocoles internes.

À l'heure actuelle, il n'existe pas de référentiel international applicable aux tests de batteries et de supercondensateurs (ou supercapacités), composants essentiels au stockage de l'énergie nécessaires au moteur électrique. Or, la sécurité de ces équipements techniques constitue l'une des données-clefs du développement futur de ce type de véhicule. Dans le cas de sollicitations abusives (type surcharge, court-circuit, percement, écrasement, combustion...), les stockages d'énergie électrochimique présentent un risque potentiel d'emballement thermique pouvant induire des inflammations, des explosions, des projections et le dégagement d'effluents gazeux toxiques. Un supercondensateur contient, par exemple, un solvant qui garantit d'excellentes performances, notamment en termes de longévité, mais qui peut engendrer un risque d'inhalation

de produits de décomposition. Depuis une dizaine d'années, l'INERIS a accompagné les développements industriels de ces nouvelles technologies par des études expérimentales, et des collaborations nationales fortes et internationales.

Auteur d'un travail pré-normatif pour pallier le manque actuel d'outils d'évaluation face aux dangers de ces nouvelles technologies, l'INERIS a récemment pris l'initiative de combler cette lacune en engageant une démarche propre au domaine du stockage mobile de l'énergie électrique avec le soutien des industriels français concernés (fabricants et constructeurs), notamment du projet STEEVE (voir p. 8). Ces derniers avaient manifesté à cet égard une forte attente lors de la Rencontre organisée par l'Institut sur le thème de la sécurité des batteries, le 7 mars 2007.

Le champ d'application de cette certification volontaire pour la sécurité d'usage s'étendra à l'ensemble des types d'accumulateurs intégrables dans une automobile : cellules, modules, batteries avec leur système de gestion et de contrôle de sécurité (BMS).

tel projet. Ce guide intitulé « Étude des risques liés à l'exploitation des méthaniseurs agricoles » est disponible sur le site internet : [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr). Dans le cadre des actions post-Grenelle, le MEEDDM a également demandé en 2008 une étude complémentaire centrée sur les risques sanitaires et environnementaux de la valorisation du biogaz en agriculture dans la perspective d'une révision de la nomenclature des installations classées (ICPE) pour les équipements de production et de combustion du biogaz. « Pour ce faire, il est nécessaire de connaître les gaz produits en même temps que le méthane lors de la digestion anaérobie des déchets, en fonction des matières entrantes dans le procédé, explique Isabelle Zdanévitch. Le premier volet reposait sur une synthèse bibliographique des données relatives aux émissions de

*composés toxiques majeurs – hydrogène sulfuré, ammoniac – et aux gaz présents à l'état de traces. Le second volet a consisté en une campagne de mesures des émissions de moteurs alimentés en biogaz dans trois installations agricoles aux caractéristiques différentes. Son objectif était de fournir des recommandations concernant la conduite de l'exploitation des moteurs et la prise en compte des types et quantités de matières entrantes pour permettre aux installations agricoles de petite taille d'avoir une procédure de classement allégée ».*

### Mise en place d'un réacteur-pilote

Dans ce contexte porteur, l'INERIS a choisi d'aller plus loin en unissant les compétences de ses directions en charge des risques chroniques et des risques accidentels. Ce programme d'appui

au MEEDDM comprend trois composantes : la détermination des distances d'effets explosifs et thermiques pour le classement des installations ; l'évaluation des risques accidentels, sanitaires et environnementaux liés à la valorisation énergétique et au transport du biogaz par canalisation ; la participation aux réseaux d'experts centrés sur le génie des procédés de méthanisation. Pour mener à bien ces travaux, l'INERIS va se doter d'un réacteur pilote permettant d'analyser les risques d'explosion survenant lors des phases transitoires (démarrage, arrêt, maintenance), d'approfondir les données sur les risques sanitaires et les nuisances olfactives, et de déterminer des indicateurs des dérives potentielles.



# DÉVELOPPEMENTS

## L'hydrogène en route vers l'avenir

**Longtemps cantonné aux applications industrielles, l'hydrogène est pressenti dans le domaine des transports. Depuis 2005, l'INERIS s'emploie à en évaluer les risques, notamment pour l'exploitation d'un service de bus (Althytude à Dunkerque) et pour les constructeurs automobiles (Projet DRIVE).**

L'hydrogène sera-t-il « le » carburant du futur ? Les constructeurs automobiles ont montré qu'ils étaient prêts technologiquement : les véhicules existent à l'état de prototypes. Mais avant d'envisager leur commercialisation, il reste à franchir un cap essentiel : la sécurité. « *Tout le défi est de garantir la sécurité des personnes à proximité et à bord d'un véhicule, nomade par définition, qui embarque un carburant inflammable et explosif dans certaines conditions*, note Lionel Perrette, chargé de mission Analyse prospective des éco-technologies au sein de l'INERIS. *Sans oublier que le-dit gaz est amené à être manié par « le grand public ». Autrement dit, il faut pouvoir l'utiliser dans un contexte plus citoyen et domestique qu'industriel.* » De l'industrie au domaine des transports, il n'y a qu'un pas que l'INERIS a franchi ces dernières années. « *Nous avons mis notre expertise à la disposition des constructeurs pour les aider à évaluer avec précision l'intensité des dangers liés à l'hydrogène*, poursuit Lionel Perrette. *Il est vrai que, pour eux, l'enjeu est de taille puisqu'il s'agit de faire accepter ce carburant par les automobilistes eux-mêmes en apportant la preuve que les risques sont maîtrisés.* »

### Homologuer un bus à hydrogène

L'INERIS se penche sur la question au début des années 2000. L'idée est d'apporter ses connaissances en évaluation des risques accidentels, acquises depuis de nombreuses années avec les industriels. L'Institut s'appuie également sur ses travaux d'études menés dans le domaine des véhicules roulant au gaz naturel pour lesquels il est reconnu. Dès lors, plusieurs projets concrétisent son engagement. Le plus appliqué se nomme Althytude. Lancé en juin 2005, il vise à tester le fonctionnement de bus alimentés avec un mélange de gaz naturel et d'hydrogène - l'Hythane, composé à 80 % de

gaz naturel et à 20 % d'hydrogène - dans une ville pilote : Dunkerque. Il s'agit de tester sur site réel ce nouveau carburant propre et d'en évaluer l'intérêt technique et économique. Le projet est coordonné par la direction de la recherche de Gaz de France. L'INERIS est chargé d'en conduire les études de sécurité. Son objectif est de donner aux pouvoirs publics (les DRIRE/DREAL) les éléments pour homologuer les bus et autoriser l'exploitation des stations-service. Le bus en question fonctionne à l'origine au gaz naturel, mais il a été modifié pour rouler à l'Hythane ce qui nécessite de s'assurer que la présence d'hydrogène n'engendre pas de problèmes supplémentaires. « *Nous avons, par exemple, étudié les risques de fuites de la ligne d'alimentation en gaz du moteur* décrit Samantha Lim-Thiébot, responsable du projet à la direction des Risques accidentels de l'INERIS.

*à l'extérieur, ou encore de vider les réservoirs avant leur stationnement (garage).* Ce faisant, le bus a obtenu le feu vert de la DRIRE pour transporter du public depuis juillet 2009. C'est la première fois, en France, que des véhicules roulent avec ce mélange hydrogène/gaz naturel.

### Quantifier les risques pour l'automobile

Si l'INERIS a acquis une légitimité en ce qui concerne l'application de la « solution hydrogène », il le doit en grande partie à son investissement dans des programmes de recherche couvrant l'ensemble des étapes de la filière. Entre novembre 2005 et février 2009, il a coordonné un projet d'envergure lié à l'usage de l'hydrogène dans l'industrie automobile. Baptisé DRIVE, il a été mené en

*« Le défi est de garantir la sécurité des personnes à proximité et à bord d'un véhicule qui embarque un carburant inflammable et explosif dans certaines conditions... »*

*Nous avons également étudié les risques liés au remplissage du carburant ainsi qu'à l'entreposage et la maintenance du bus.* » Menés sur quatre années, ces travaux ont débouché sur plusieurs recommandations de la part de l'INERIS. « *Nous avons invité le constructeur à incorporer des pièces plus sûres dans le circuit d'alimentation du moteur*, précise Samantha Lim-Thiébot. *De même, nous avons suggéré à l'exploitant de prendre des précautions, comme par exemple d'isoler les stations-service sur un dépôt, de tenir les personnes à distance pendant le remplissage, d'entreposer les bus*

collaboration avec le CEA, l'Institut de recherche sur les phénomènes hors équilibre (l'IRPHE), ainsi que le constructeur PSA Peugeot Citroën. « *C'est l'un de nos tous premiers projets ANR - sélectionné à l'issue de l'appel à projets 2005 - qui vient ainsi de se conclure*, tient à préciser Lionel Perrette. *L'objectif était clairement de quantifier les événements liés à chaque étape d'un enchaînement accidentel et d'en évaluer les risques. Concrètement, il s'agissait de produire des données expérimentales ainsi que des référentiels susceptibles d'aider les concepteurs à garantir un niveau de sécurité*



Un bus fonctionnant à l'Hythane (R) du projet Althytude à Dunkerque.

en adéquation avec un usage grand public. » Le consortium a analysé les différentes étapes qui mènent, dans un enchaînement, de l'incident à l'évènement critique : fuite, dispersion (à bord ou à l'extérieur du véhicule), inflammation, jet, explosion. Sept campagnes expérimentales différentes ont été conduites dans le but de quantifier les risques à chacune de ces étapes. L'INERIS en a mené six. Ainsi, un dispositif expérimental a été spécialement conçu pour mesurer l'étanchéité de plusieurs composants du véhicule préalablement soumis à des contraintes mécaniques et/ou thermiques pour simuler leur usage prolongé et/ou leur vieillissement dans le temps. Un autre dispositif a permis d'étudier le comportement en situation critique de la bouteille d'hydrogène comprimé à 900 bars embarquée dans le véhicule. « Cette bouteille est équipée d'un fusible thermique qui libère rapidement l'hydrogène dès lors qu'un seuil

thermique est dépassé pour éviter tout risque d'éclatement, explique Olivier Gentilhomme, ingénieur à l'Unité Explosion Dispersion à la direction des Risques accidentels. Or, l'activation de ce fusible entraîne un jet enflammé dont nous avons étudié les caractéristiques géométriques et les effets thermiques sur l'environnement. Plus généralement, nos essais ont permis de dégager des règles de conception sur lesquelles les constructeurs automobiles peuvent s'appuyer. » 15 à 20 ingénieurs et techniciens de l'INERIS ont participé activement à ces travaux.

### Une révolution en marche

En tout état de cause, cet important projet a montré que la technologie était envisageable à plus ou moins court terme. Mais la recherche en la matière ne fait que commencer. Un nouveau projet, du nom de DIMITRHY, a pris le relais en 2009. Il est coordonné cette fois

par le CEA. L'INERIS y participe aux côtés de nouveaux partenaires, tels qu'Air Liquide et Hélion. « Il s'agit cette fois de s'intéresser à la « mitigation », c'est-à-dire aux façons de limiter et/ou réduire les risques, explique Olivier Gentilhomme. Plus précisément, nous allons étudier les possibilités de réduire la formation d'atmosphères explosives via la détection et la ventilation. Nous allons également étudier les moyens de limiter les effets des explosions. Enfin, nous élargissons notre champ d'expérimentation à des systèmes pile à combustible pour des applications grand public. » Ainsi, les recherches sur le carburant hydrogène se multiplient et bénéficient désormais de coopérations internationales. L'INERIS est membre du réseau d'excellence HYSAFE dédié à la sécurité de technologies de l'hydrogène, qui a pour objectif la création d'un centre européen d'expertise. La révolution « H » est en marche.

## | DEUX PROJETS DE RECHERCHE COMPLÉMENTAIRES |

	PROJET ALHTHYTUDE	PROJET DRIVE
Application	Bus	Véhicule
Motorisation	Moteur à combustion interne	Pile à combustible
Carburant	Hythane (hydrogène/gaz naturel)	Hydrogène
Perspective de diffusion de la technologie	Moyen terme	Long terme
Nature des travaux	Appliqués : étude de sécurité en vue d'obtenir l'autorisation d'exploiter les systèmes	Recherche : collecter des données pour affiner les évaluations de risques et dégager des pistes d'amélioration en faveur de la sécurité



## La sécurité des installations industrielles en ligne de mire

**La maîtrise des risques**, en cas de défaillance d'une installation industrielle, est encadrée par un corpus de normes dont la CEI 61511, qui traite de l'application des systèmes de sécurité dans l'industrie des process. Pour la première fois, l'INERIS vient de délivrer un certificat de conformité à cette norme pour une installation complète. Et dans le cadre d'un nouveau référentiel, Quali-SIL, il s'attache à former les hommes aux nouvelles approches de sécurité.

**A**u cœur du métier de l'INERIS, la sécurité des installations et des personnes est un enjeu majeur pour les industries. D'une part, parce que la santé et la sécurité des travailleurs sont des exigences essentielles pour les employeurs. D'autre part, parce qu'il s'agit aussi de protéger l'environnement et les installations elles-mêmes. Il y a quelques décennies, chacun appliquait sa propre politique de sécurité. Les lois, les directives et les normes ont petit à petit permis de rationaliser les approches. Parmi elles, figure la norme CEI 61511, issue de la norme européenne CEI 61508 qui s'impose comme la référence pour le développement, la mise en œuvre, l'exploitation et la maintenance des systèmes instrumentés destinés à réaliser des fonctions relatives à la sécurité (sécurité fonctionnelle). Applicable au secteur des industries de transformation, la norme CEI 61511 définit une méthode d'analyse du niveau d'intégrité de sécurité SIL (acronyme de *Safety Integrity Level*) qui doit être atteint par un Système Instrumenté de Sécurité (SIS). Le SIL est décliné en quatre niveaux de performance : plus le SIL est élevé, plus la probabilité de défaillance dangereuse du système est faible. La norme CEI 61511 concerne tous les acteurs impliqués dans la chaîne de sécurité fonctionnelle et est destinée à être utilisée aussi bien par les

concepteurs de systèmes de sécurité que par les intégrateurs et les utilisateurs.

### Une turbine à gaz certifiée SIL

Aujourd'hui, de plus en plus d'industriels cherchent à obtenir la certification de conformité à cette nouvelle norme. Bien qu'elle ne soit pas, pour l'heure, obligatoire, il s'agit d'une bonne preuve qu'ils maîtrisent les risques, notamment lorsqu'ils sont soumis à des inspections d'organismes comme les DRIRE/DREAL. Pour répondre à ce besoin, l'Institut délivre depuis 2007 un certificat de conformité aux normes CEI 61508/CEI 61511, matérialisé par l'apposition de la marque SIL-INERIS. Plus récemment, le 29 mai dernier, il a certifié, pour la première fois, l'ensemble des Systèmes Instrumentés de Sécurité d'une installation industrielle, en l'occurrence une turbine à gaz du groupe GE Energy Products Europe. L'étude, qui a nécessité une approche globale de la turbine et de son alternateur, exigeait une expertise pointue. En collaboration étroite avec les équipes engineering de GE à Belfort, les experts de l'INERIS ont tout d'abord procédé à une analyse des risques en identifiant tous les points d'amélioration. Ce faisant, une nouvelle configuration de turbine, équipée notamment d'un second contrôleur dédié à la sécurité a permis d'atteindre les exigences de la norme



### Remise du certificat de GE

par Vincent Lafèche le 29 mai 2009 à Belfort.

imposées par l'INERIS. Parallèlement, un programme rigoureux de vérification périodique a été établi afin de maintenir le niveau de sécurité requis tout au long du cycle de vie de la machine. Après la réalisation de tests de validation en laboratoire, des essais *in situ* ont permis de valider la configuration complète et de certifier la turbine à gaz 9E de Quarantine, en Australie. D'autres certifications de turbines GE sont d'ores et déjà prévues en Australie et en Europe.

### Quali-SIL, pour former les hommes

En matière de sécurité, le champ d'expertise de l'INERIS s'étend au-delà de la certification de matériels. Il y a un an, l'Institut a lancé un nouveau référentiel de certification volontaire. Son nom : Quali-SIL. Son objectif : s'assurer des connaissances et des compétences de tous les acteurs concernés. « *Nous avons en effet constaté qu'il ne suffisait pas de certifier des matériels pour garantir la sécurité*, explique Dominique Charpentier, directeur adjoint de la direction de la certification de l'INERIS, à l'origine du projet. *Il faut aussi que les interlocuteurs soient compétents et en mesure de le prouver.* » Parmi ces compétences, les acteurs se doivent de maîtriser la notion de niveau d'intégrité SIL. Autrement dit, il s'agit



Turbine à gaz 9E de GE Energy Products Europe certifiée par l'INERIS.

de savoir choisir les fonctions instrumentées de sécurité (SIF) en fonction du niveau de risque souhaité (SIL 1 à 4). Pour mener à bien ce projet, l'INERIS et sa filiale INERIS Formation ont constitué un comité de certification en partenariat avec l'IRA (Institut de

*de diversifier nos formations selon les métiers et les niveaux de compétences de nos interlocuteurs, note Dominique Charpentier. Dans tous les cas, les postulants doivent justifier de compétences de plusieurs années dans le domaine des SIS. Ils doivent ensuite suivre*

*planifié une dizaine de formations inter-entreprises auxquelles s'ajoutent des formations intra-entreprises. Nous espérons aboutir à une centaine de personnes certifiées, et ces chiffres seront démultipliés dès lors que nous nous adresserons à la population des opérateurs, qui est beaucoup plus nombreuse que celle des ingénieurs. »*

Un an après son lancement, Quali-SIL a déjà gagné ses lettres de noblesse, notamment auprès de grands donneurs d'ordres de l'industrie pétrolière ou chimique, comme Total, Arkema, Rhodia et la Direction des constructions navales de la DGA. L'INERIS ambitionne aussi de proposer ses modules de certification et de formation à l'international. « Nous avons déjà des demandes pour Israël, l'Australie et le Brésil », conclut Dominique Charpentier.

*« Le 29 mai dernier, l'Institut a certifié pour la première fois l'ensemble des Systèmes Instrumentés de Sécurité d'une installation industrielle... »*

régulation et d'automatisation), l'ICSI (Institut pour une culture de sécurité industrielle) et la société Iso Ingénierie. L'INERIS délivre d'ores et déjà des certifications auprès d'ingénieurs en sécurité fonctionnelle. « Nous avons prévu

*une formation et passer un examen, lesquels peuvent être réalisés soit par l'INERIS soit par d'autres organismes, dans la mesure où les formateurs auront eux-mêmes été certifiés. D'ici à la fin de l'année 2009, nous avons*



# ÉCHANGES

## Un pas de plus vers l'ouverture

**La prise en compte de l'angle de vue des ONG et associations de consommateurs dans la gouvernance et le pilotage de la recherche est un des axes phares du comité opérationnel Recherche du Grenelle de l'Environnement.**

La recherche sur des sujets porteurs d'enjeux dits « sociétaux » nécessite évidemment que les questions sociétales soient traduites en questions scientifiques. Il faut ensuite que les résultats scientifiques puissent être présentés sous forme de réponses scientifiques, évaluables par les pairs, mais immédiatement traduites en réponses sociétales ou opérationnelles. Ces réponses doivent être concrétisées par des actions et des décisions. La mise en place d'instances permettant cette double traduction, des questions puis des réponses constitue une voie de progrès.

### Une réflexion commune

Concrétisation d'une démarche d'ouverture amorcée depuis 2008, l'INERIS a organisé le 19 juin 2009 à Paris une journée de réflexion sur les enjeux en matière de recherche et d'appui aux pouvoirs publics, la définition de priorités scientifiques et techniques et la préfiguration d'un nouveau mode de gouvernance. Élus, industriels, associations de consommateurs / ONG (de protection de l'environnement et des professionnels de santé), syndicats, représentants du monde scientifique et de l'administration y ont participé.

La table ronde sur l'ouverture de la gouvernance scientifique et technique de l'INERIS qui s'est déroulée lors de cette journée a permis de définir les conditions de mise en œuvre d'un tel enjeu.

Plusieurs intervenants, représentatifs des différentes composantes de la société, ont amorcé les débats<sup>(1)</sup> : Maryse Arditi, Vice-présidente du Conseil Régional du Languedoc-Roussillon ;

Régine Bréhier, Directrice de la Recherche et de l'Innovation au Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer ; Christian Delvosalle, Professeur à la Faculté Polytechnique de Mons (Belgique) et Président de la Commission Risques Accidentels de l'INERIS ; Philippe Prudhon, Directeur des Affaires Techniques de l'Union des Industries Chimiques (UIC) ; Pierre Toulhoat, Directeur Scientifique de l'INERIS ; Ariane Vennin, Porte-parole d'Écologie Sans Frontière.

### Les prémices d'une nouvelle gouvernance

Sur la base de trois scénarios proposés, les participants ont dessiné les contours d'une nouvelle instance de gouvernance scientifique et technique pour l'INERIS. Quelques recommandations générales sur sa mise en œuvre ont également émergé. Celles-ci portaient sur l'établissement de règles de fonctionnement simples et transparentes, la limitation du nombre d'interlocuteurs, le maintien d'un niveau scientifique et d'expertise élevé.

La réflexion menée autour de cette ouverture a suscité d'autres questionnements tels que le rôle de la société dans la sélection des priorités de recherche, la pertinence de l'expertise, la vulgarisation et diffusion de l'information.

### Priorités scientifiques et techniques 2010

Lors de cette journée, les participants se sont également exprimés sur quelques priorités scientifiques et techniques pour 2010 présentées dans le cadre des trois ateliers



Journée de réflexion du 19 juin 2009.

organisés en parallèle. Les thématiques sélectionnées sont le fruit d'un travail collaboratif avec différentes parties prenantes afin qu'ils correspondent, au mieux, aux attentes de la société. Chaque atelier était composé de deux sujets, le premier portant sur des travaux de recherche et le second sur des travaux d'appui aux pouvoirs publics.

L'atelier dédié à la toxicologie et l'écotoxicologie a mis en exergue les perspectives offertes par les approches alternatives à l'expérimentation animale et les enjeux de santé environnementale liés à la qualité de l'air dans les environnements intérieurs.

Le second atelier consacré aux nouvelles technologies a ouvert le débat sur la démarche intégrée d'évaluation des risques de la filière CO<sub>2</sub> et la valeur des nouvelles certifications dans les éco-innovations.

Le troisième atelier s'intéressait aux risques émergents en particulier la toxicité et l'écotoxicité des nanomatériaux et l'impact sanitaire des champs électromagnétiques.

Cette journée de réflexion a permis de franchir une étape supplémentaire. Sur la base des remarques et propositions faites lors de la table ronde, le rôle et les missions d'une nouvelle instance de gouvernance scientifique et technique seront définis très prochainement.

(1) Jean-Pierre Bompard, Secrétaire confédéral en charge des questions internationales et délégué à l'énergie, à l'environnement et au développement durable à la CFDT, n'a pu intervenir à la table ronde.