

**En détail** | Page 06  
Certification  
NanoCert, sécurité  
au poste de travail



**En équipe** | Page 14  
Sites et sols pollués :  
évaluation  
et réduction  
des impacts

**En 3D** | Page 18  
Simuler l'impact des  
mouvements de terrain



# INERIS

## mag

L'ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE ET PRATIQUE  
DE LA MAÎTRISE DES RISQUES  
N°31 | Novembre 2012

**Émissions polluantes** | Page 08

UNE ANALYSE  
ET DES SERVICES  
POUR LES  
INDUSTRIELS

**INERIS**

maîtriser le risque |  
pour un développement durable |



## De l'exigence de la mesure pour la maîtrise du risque

**Des mesures aisément accessibles, fiables, précises, représentatives et reconnues sont cruciales pour la maîtrise du risque.** Les difficultés et les enjeux scientifiques sont peu discutés, car un peu occultés par les débats sur les dangers des pollutions ou les arbitrages sur la recherche de réductions « efficaces à coût raisonnable ».

Pourtant, la mesure ne va pas de soi. Sur le terrain, la conformité au règlement génère des contentieux quand un protocole est imprécis. Dans les laboratoires de recherche expérimentale, des expositions mal caractérisées font obstacle à la publication des résultats, ainsi que le prévoit la ligne éditoriale des revues sur les nanoparticules.

Le résultat d'une mesure environnementale ne sort d'un laboratoire d'analyse qu'après trois étapes : l'échantillonnage ou le choix des points de mesure, le prélèvement, avec éventuellement des technologies spécifiques, et l'analyse de ce qui a été prélevé. De ce fait, les exigences portent à la fois sur la théorie et la technologie, et sur la maîtrise du travail opérationnel, sur site et dans les laboratoires d'analyse.

Quand les résultats sont requis pour vérifier une conformité, les conditions de mesure doivent être garanties. D'où un travail de normalisation, d'accréditation et, parfois, d'agrément. L'INERIS travaille sur ces trois sujets et possède, notamment, des bancs d'étalonnage qui peuvent être uniques en France.

Si les résultats servent à la mise au point ou au réglage de technologies, il faut adapter les dispositifs de mesurage (à une campagne d'essais, par exemple) et intégrer une expertise sur les installations et les procédés. Ce sont des travaux de terrain que l'INERIS propose.

Tout cet ensemble requiert des innovations. L'INERIS peut être conduit à effectuer des analyses sur des substances rarement mesurées, à organiser le déport de postes de travail quand les capteurs sont en zone dangereuse, à augmenter la précision des méthodes. L'Institut accompagne aussi le passage à des mesures en temps réel ou le développement d'outils pour construire des cartographies, couplées par exemple avec des modèles. L'analyse et la mesure illustrent bien le transfert de l'innovation à des pratiques généralisées.

**Philippe Hubert,**  
directeur des risques chroniques de l'INERIS

### 04-05 | En vitesse

#### L'INERIS dépose un brevet

Il concerne un démonstrateur permettant d'identifier le relargage de nano-objets.

#### Formation

« Les micropolluants dans les milieux aquatiques : stratégie de réduction, gestion des effluents industriels et retours d'expérience », en avril et novembre 2013.

#### Véhicules électriques: l'INERIS publie son dossier de références

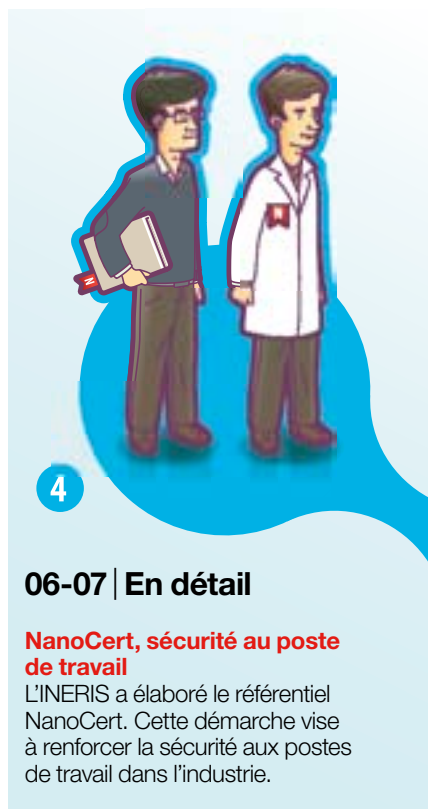
État des lieux des travaux de recherche, d'appui aux pouvoirs publics, d'expertise et de certification menés par l'Institut.

#### Simulation de la qualité de l'air à haute résolution

Le calcul a été conduit avec CHIMERE sur le nouveau calculateur à 200 teraflops.

#### Jumelage Tunisie-INERIS

Le projet réunit quatre partenaires pour la promotion d'une industrie respectueuse de la santé et de l'environnement.



### 06-07 | En détail

#### NanoCert, sécurité au poste de travail

L'INERIS a élaboré le référentiel NanoCert. Cette démarche vise à renforcer la sécurité aux postes de travail dans l'industrie.

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

Parc Technologique Alata - BP 2 - 60650 Verneuil-en-Halatte.  
Tél. : +33(0)3 44 55 66 77 - Fax : +33(0)3 44 55 66 99.

**Directeur de la publication :** Vincent Lafliche - **Rédactrice en chef :**

Ginette Vastel - **Crédits photo :** AFP Photo/A.-C. Poujoulat; M. Chantrelle/INERIS; C. Cornut/Dolce Vita/Picturetank; CTC; DR/INERIS; Ludovic/REA; F. Maigrot/REA; Thinkstock 2012; J.-M. Watelet/INERIS - **Infographie :** A. Dagan - **Conception et réalisation :**

B&BEL **LIGARIS**, Responsable éditoriale: N. Kharbache - Directeur

artistique: É. Daumont - Secrétaire de rédaction: P. Christol

- Maquettiste: J. Walkowiak - Iconographe: M. Capera

- **Rédaction :** Bernard Chevalier, Corinne Drault, Louis-Antoine

Mallen, Cyril Merle - Imprimeur: Imprimerie Comelli.







08-13 | Dossier

## Émissions polluantes: une analyse et des services pour les industriels

# l'image

### 16-17 | En débat

#### Détecteurs PID: des mesures fiables ?

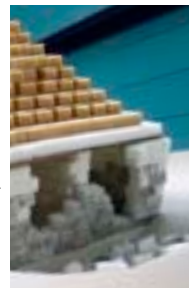
Comment les activités industrielles peuvent-elles répondre aux normes d'émission de polluants volatils ?



### 18-19 | En 3D

#### Impact des mouvements de terrain sur le bâti

Un risque majeur en France et un simulateur unique en Europe.



### 20 | Ensemble

#### Fike Corporation/INERIS

Risques d'explosion : vers une stratégie de recherche appliquée ?

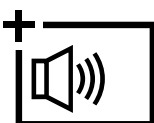


### 14-15 | En équipe

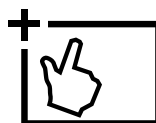
**Sites et sols pollués**  
Évaluation et réduction  
des impacts



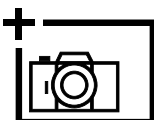
**En picto** - Au fil du magazine, découvrez les liens avec [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)



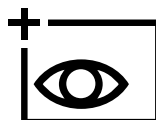
L'intégralité d'une interview  
du magazine est diffusée  
en document audio sur  
[www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)



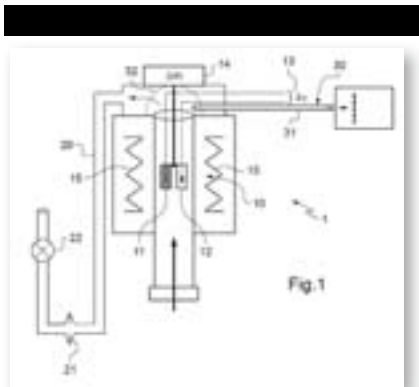
Un document enrichi  
(infographie...) est consultable  
de manière interactive sur  
[www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)



L'intégralité d'un reportage  
photo du magazine  
est en ligne sur  
[www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)



La vidéo d'une interview  
du magazine  
est disponible sur  
[www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)



**Démonstrateur permettant l'identification du relargage de nano-objets, conçu à l'INERIS (brevet français n° 1154795).**

### L'INERIS dépose un brevet

Un nouveau démonstrateur servant à identifier le relargage des nano-objets, libres ou agglomérés, résultant d'une contrainte thermique ou de la combustion d'un nanomatériau, a été conçu par une équipe de l'INERIS, composée de Jacques Bouillard, Badr R'Mili, Émeric Fréjafon et Dominique Fleury (brevet français n° 1154795). Ce démonstrateur a permis de caractériser le relargage de nanotubes de carbone issus de plastiques automobiles (ABS), qui peut intervenir lors de scénarios accidentels ou de revalorisation énergétique du plastique. Ce type d'information apporte une aide précieuse à la conception de nanomatériaux, qui doivent être développés suivant de nouveaux critères impliquant le concept de « *Safety by design* ».

## Nominations



**L'INERIS, représenté par Vincent Lafilèche,** est nommé membre du conseil d'administration de l'Association française de normalisation (Afnor).

Il préside également, depuis 2011, le Comité d'orientation stratégique (COS) Environnement et développement durable.

**Laurence Rouil** est nommée membre de l'Autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires (ACNUSA), en tant que personnalité compétente en matière d'émissions atmosphériques de l'aviation, sur proposition de Delphine Batho, ministre de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.



## Formation

Dans le cadre de sa mission de prévention et de maîtrise des risques industriels et technologiques, l'INERIS propose une nouvelle formation intitulée « Les micropolluants dans les milieux aquatiques: stratégie de réduction, gestion des effluents industriels et retours d'expérience ». Sous forme d'exposés théoriques, complétés par l'étude de cas concrets, la formation s'adresse aux ingénieurs et techniciens supérieurs concernés par les rejets industriels et de stations d'épuration urbaines dans les milieux aquatiques (exploitants, collectivités, bureaux d'études, inspecteurs des ICPE\*, agences de l'eau).

### Programme

#### Du cadre réglementaire aux actions locales

- Présentation du cadre réglementaire européen et national.
- Impacts des rejets de micropolluants sur le milieu aquatique et normes de qualité environnementale (NQE).
- Réduction et surveillance des rejets:

mise en œuvre des meilleures techniques disponibles (MTD) et des bonnes pratiques sectorielles, action de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau (RSDE).

#### Les solutions techniques de réduction des rejets de micropolluants dans les milieux aquatiques

- Rappels des filières classiques de traitement.
- Traitements des micropolluants (eaux résiduaires industrielles) et procédés développés par les traiteurs d'eau.
- Possibilités de recyclage.
- Les aides des agences de l'eau.

**Deux sessions** seront organisées: les 9 et 10 avril 2013 à Paris, les 20 et 21 novembre 2013 à Aix-en-Provence. Pour tout renseignement: Emmanuelle Ughetto, 03 44 55 67 23. [emmanuelle.ughetto@ineris.fr](mailto:emmanuelle.ughetto@ineris.fr)

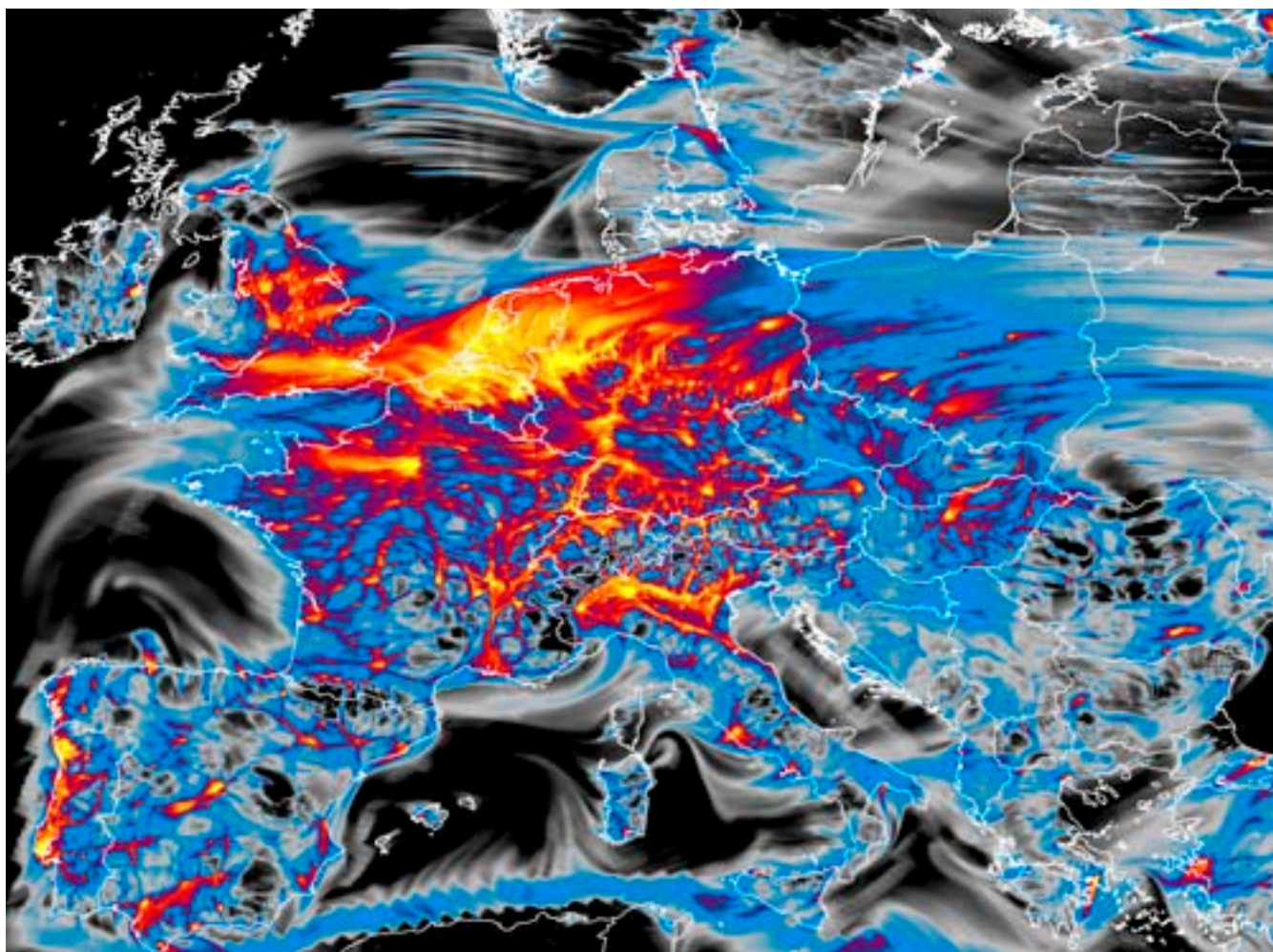
*\* Installations classées pour la protection de l'environnement.*

## Véhicules électriques: l'INERIS publie son dossier de références

L'INERIS a publié son premier dossier de références sur la thématique Véhicules électriques « batteries et sécurité » (indicateur du contrat d'objectifs 2011-2015). Le document propose un état des lieux des travaux de recherche, d'appui aux pouvoirs publics, d'expertise et de certification menés par l'Institut. Sa particularité repose sur la mise en perspective des résultats acquis au regard des attentes sociétales sur la question du véhicule électrique. La Commission d'orientation de la recherche et de l'expertise (Core), composée d'élus, d'associations, d'ONG, d'industriels, de syndicats et de représentants de l'État, livre également ses préconisations sur le sujet. **Plus d'infos sur <http://www.ineris.fr/dossiers-thematiques-ineris/1469>**







## Simulation de la qualité de l'air à haute résolution

L'INERIS a mené une simulation de la qualité de l'air à haute résolution sur la vague de pollution de janvier 2009. Le calcul a été conduit avec le modèle de chimie-transport CHIMERE, sur le

nouveau calculateur à 200 teraflops du Centre de calcul recherche et technologie (CCRT), dans le cadre du grand challenge 2012. La résolution spatiale est d'environ 1,5 km, soit près d'un facteur 200 en

termes de ressources de calcul par rapport à l'état de l'art. Deux mille processeurs d'un supercalculateur ont été mobilisés; cela aurait pris treize ans sur un seul ordinateur.



### Jumelage Tunisie-INERIS

Le Centre de promotion des exportations de Tunisie (Cepex) a accueilli, le 6 juin 2012, le séminaire de lancement du projet de jumelage intitulé « Appui institutionnel en matière de gestion et de contrôle des produits

chimiques ». Le projet réunit l'Autriche, la France, la Suède et la Tunisie, dans le but de promouvoir une industrie respectueuse de la santé et de l'environnement. Dans ce cadre, l'INERIS a formé l'équipe du Centre technique de la chimie (Tunisie). Une première partie était consacrée

**4**  
partenaires  
internationaux

à la toxicologie des agents chimiques dangereux (protocoles standardisés pour l'évaluation de la toxicité, scénarios d'exposition et quantification du risque). La seconde partie était dédiée aux approches pratiques visant à évaluer le risque chimique pour les travailleurs.

# Certification

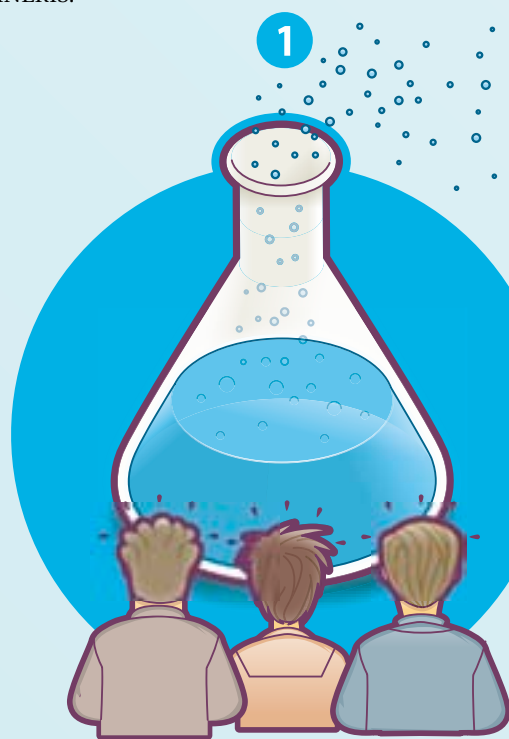
## NanoCert, sécurité au poste de tra

**L'**émergence des nanoparticules dans l'industrie, la chimie ou le secteur pharmaceutique entraîne de nouveaux risques, notamment liés à l'inhalation de ces particules infiniment petites. La société civile et ses parties prenantes attendent des pouvoirs publics une gestion proactive et préventive du risque. Une exigence exprimée lors du Grenelle Environnement et à laquelle répond le référentiel NanoCert.

En effet, cette démarche de certification volontaire vise à renforcer la sécurité au poste de travail par la formation qualifiante des intervenants et par la certification des meilleures techniques disponibles (MTD). En images, l'histoire de l'élaboration de ce référentiel par l'INERIS.

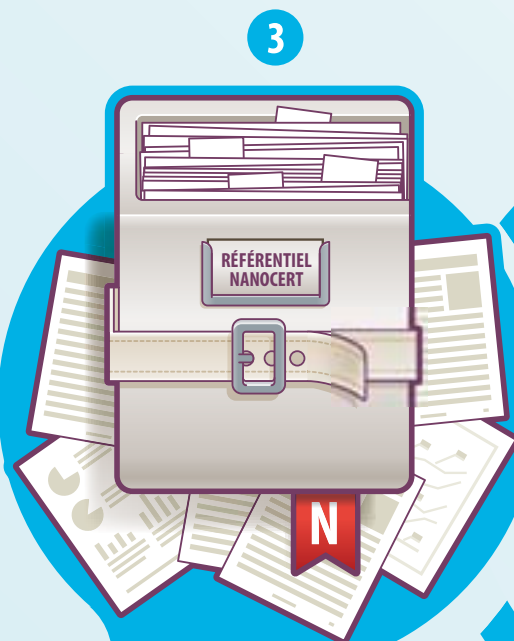
### 3- Benchmark

Étude des pratiques et des techniques, élaboration des supports de formation... : pendant un an, les experts établissent et développent le référentiel NanoCert.

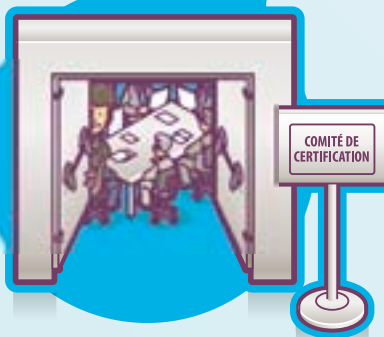


#### 1- Des interrogations sur les risques liés à l'inhalation de nanoparticules

En l'absence de données précises sur les risques, les acteurs civils et les entreprises s'engagent dans une démarche de sécurité concrétisée par une certification volontaire.



2



#### 2- La construction du dispositif de certification

L'INERIS, le CEA, le CNRS, Arkema, STMicroelectronics, Thales et l'ONG Écologie sans frontière – rejoints par le secteur cosmétique – s'engagent au sein du comité de certification que pilote l'INERIS. Tous les utilisateurs potentiels de nanoparticules sont donc autour de la table.

vail

# 2 ans

Durée de validité  
des certificats  
de compétence  
des personnes.



4

#### 4- Application n°1

La certification volontaire  
des opérateurs et préventeurs  
au contact des nanoparticules.



4 bis

#### 4bis- Application n°2

La certification volontaire  
des meilleures techniques disponibles  
(MTD) appliquées aux équipements.



5

#### 5- Ce qu'il faut retenir

L'application des deux certifications  
assure une sécurité optimale et  
« nanocertifiée » au poste de travail,  
tant pour l'opérateur que pour  
l'environnement. Renouvelées tous  
les deux ans, les certifications  
suivent ainsi le cycle des évolutions  
envisageables du poste de travail,  
des technologies et des matériaux.

## À savoir

**NanoCert** est une initiative pionnière en Europe. Elle est fondée sur une démarche volontaire – et non réglementaire – de la part des chefs d'entreprise et des utilisateurs. Ce schéma vise à fournir des éléments propres à faciliter l'habilitation du personnel par l'employeur. En France, son intérêt a été souligné par la direction générale du travail.



Le PDF de cette infographie est consultable  
sur [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)





**Sommaire** | P. 9-12 L'INERIS a acquis une expertise de terrain en matière de mesures à l'émission (p. 10) et de transfert de polluants (p. 11). P. 13 EDF met en œuvre ses appareils de mesure sur le banc d'essais de l'Institut pour vérifier et comparer ses propres résultats en termes d'émissions atmosphériques.



## Les contributeurs



**Nicolas Alsac,**  
responsable du  
pôle Caractérisation  
de l'environnement.



**Anne-Sophie  
Clincke,**  
ingénieur de  
l'unité Milieux.



**Marc Durif,**  
responsable de  
l'unité Milieux.



**Émeric  
Fréjafon,**  
délégué scientifique  
de la direction des  
risques chroniques.



**François  
Gautier,**  
ingénieur de  
l'unité Milieux.



**Jessica  
Queron,**  
ingénieur de  
l'unité Milieux.

# Émissions polluantes : une analyse et des services pour les industriels

L'INERIS met son expertise en analyse des polluants gazeux dans l'atmosphère au service de l'État et des organismes de contrôle. Mais aussi, et de plus en plus souvent, des entreprises. Revue des compétences et des prestations proposées.

L'INERIS contribue à la prévention des risques que les activités économiques font peser sur l'environnement, la santé et la sécurité des personnes. Dans le cadre de cette mission, l'Institut conduit des activités relatives à la caractérisation des émissions de polluants dans l'atmosphère et à leur transfert dans l'air ambiant.

Comme l'explique Nicolas Alsac, responsable du pôle Caractérisation de l'environnement, « une partie de nos études visent à améliorer les connaissances en matière de polluants dans l'air, à optimiser les pratiques et la qualité des mesurages des polluants émis par les ICPE<sup>(1)</sup>. Elles s'appuient sur un dispositif très complet de contrôle de la qualité des opérations de mesurage réalisées par les laboratoires accrédités ».

Cet important travail de terrain a permis aux équipes de l'INERIS d'acquérir une expertise qu'elles mettent à profit pour :

- animer des commissions et des groupes de travail d'organismes français et européens de normalisation des méthodes de référence (Afnor et CEN/TC 264) ;
- certifier les matériels de mesurage ;
- assurer le contrôle réglementaire des ICPE et de leur système d'autosurveillance ;
- s'impliquer comme évaluateur et collaborer avec le Comité français d'accréditation (Cofrac) sur l'évolution des textes de référence ;
- organiser des comparaisons interlaboratoires sur son banc d'essais à génération d'effluents gazeux réels.

### Appui croissant aux pouvoirs publics et aux industriels

L'INERIS apporte également son appui technique aux pouvoirs publics<sup>(2)</sup>, afin de répondre à des besoins d'information

récurrents sur des filières d'activité, de fournir un avis ou un état des lieux, d'effectuer des veilles sur les méthodes de mesurage, les facteurs d'émission des procédés et les capacités de réduction des émissions, ou d'identifier des pollutions atmosphériques des sites industriels et leur impact environnemental... « *Organisme de recherche, l'INERIS participe aussi à des programmes de R&D, notamment avec l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) ou l'Institut national de la recherche agronomique (Inra). Des programmes conduits, par exemple, pour optimiser les procédures de mesure des polluants gazeux, évaluer les instruments innovants disponibles sur le marché et examiner leurs conditions d'utilisation, leur précision, leur dérive, etc.* », précise Nicolas Alsac.

L'Institut est également associé à des programmes européens, comme le projet OCTAVIUS de démonstration industrielle du captage et du stockage du CO<sub>2</sub>, ainsi qu'à des programmes relatifs aux foyers domestiques fonctionnant au bois.

Cette somme de connaissances, de savoir-faire et d'expertise est aujourd'hui valorisée auprès des industriels. Des prestations spécifiques permettent de caractériser et d'améliorer leurs procédés et d'optimiser leurs systèmes de dépollution. L'intérêt ? Aider les industriels à mieux répondre aux exigences environnementales et aux normes réglementaires.

1- Installations classées pour la protection de l'environnement.

2- Dans le cadre du Programme 181 « Prévention des risques ».

## Zoom sur

### Émissions polluantes et air ambiant

Dans la lutte contre la pollution atmosphérique et la caractérisation de l'air, on distingue habituellement trois notions :

- la pollution émise (les effluents gazeux issus de sites industriels ou agricoles) ;
  - l'air ambiant (celui que respire le public à l'extérieur, en ville ou à la campagne) ;
  - l'air à l'intérieur des locaux, notamment au poste de travail.
- En France, la loi sur l'air du 30 décembre 1996 stipule que « l'air ambiant ne doit pas nuire à la santé ».

## Prestations phares de l'INERIS



**Caractérisation** des émissions de polluants gazeux sur site (sortie de cheminée, émissions fugitives, etc.).

**Analyse et optimisation** des installations de dépollution et de traitement des effluents.

# 150

substances gazeuses différentes analysées par l'INERIS grâce à son accréditation.

### Zoom sur

#### Le guide méthodologique CEA-INERIS-INRS

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. Un partenariat a donc été mis en place entre l'INRS<sup>(1)</sup>, le CEA<sup>(2)</sup> et l'INERIS en vue d'élaborer un guide sur la prévention des risques aérosols. Destiné principalement aux responsables HSE<sup>(3)</sup> des entreprises, il propose une approche harmonisée en matière de caractérisation des potentiels d'émission et d'exposition aux aérosols en milieu de travail lors d'opérations mettant en œuvre des nanomatériaux. Le guide est gratuit et disponible sur le site Internet de l'INERIS.

1- Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

2- Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.

3- Hygiène sécurité environnement.



Le PDF est consultable sur <http://www.ineris.fr/centredoc/guide-methodologique-cea-ineris-inrs-v14-1334828211.pdf>



**A**ujourd'hui, les quantités émises dans l'atmosphère ont très fortement diminué, grâce à des dispositifs de dépollution efficaces. Il n'en reste pas moins essentiel de continuer à suivre et à évaluer avec précision les concentrations et les flux sortant des ICPE<sup>(1)</sup> – centrales thermiques, raffineries, usines chimiques, stations d'élevage agricole, unités de méthanisation ou de traitement des déchets – et de vérifier que les quantités de gaz émis ne dépassent pas les niveaux fixés par la réglementation.

#### Au-delà du contrôle, le conseil et l'expertise

Les industriels doivent se soumettre à des contrôles obligatoires, dont la périodicité sera fonction des polluants. L'INERIS dispose pour cela d'une panoplie complète de systèmes de mesure, continus ou ponctuels, automatiques ou non, dont le principe général consiste à prélever (dans le conduit de cheminée d'une usine, par exemple) une quantité d'effluent gazeux et à l'analyser en laboratoire ou directement sur site. « Ces mesures à l'émission sont la première des tâches de l'unité Sources et émissions », indique son responsable, Jean Poulleau. Mais l'INERIS, mettant à profit son expérience et ses multiples savoir-faire ainsi que la variété de ses équipements, propose aux

entreprises des prestations spécifiques. Elles vont bien au-delà du simple contrôle réglementaire en y apportant du conseil, de la formation et de l'expertise: normes à respecter, procédés de combustion, dispositifs de dépollution, choix et étalonnage des systèmes d'autosurveillance, etc.

« L'INERIS intervient de plus en plus sur la demande expresse des industriels pour analyser des situations complexes ou particulières – centrales thermiques, moteurs de bateaux, installations à risques d'explosion –, afin notamment d'étudier les possibilités de réduction des émissions à la source et d'optimiser la qualité des équipements de traitement des effluents », poursuit Jean Poulleau.

L'INERIS est également reconnu pour son expertise concernant certains polluants tels que les COV<sup>(2)</sup> – leur dosage est assez délicat à effectuer – et les particules micro-métriques, sur les processus industriels ainsi que sur les chaudières à bois, ou encore les combustibles issus de la biomasse.

1- Installations classées pour la protection de l'environnement.

2- Composés organiques volatils.

### Analyse

des gaz ambiants en milieu ATEX (atmosphères explosives).

### Conduite d'essais

interlaboratoires sur le banc d'essais de l'INERIS pour l'évaluation et la certification des appareils et méthodes de mesure.

### Vérification

et étalonnage des capteurs d'autoévaluation.

Quantification des émissions canalisées de SO<sub>2</sub> par la méthode DIAL. Huit polluants gazeux sont mesurés simultanément par le LIDAR dans l'air.



## Air ambiant

# Transfert des polluants et exposition des populations

« Nos équipes peuvent intervenir sur le terrain pour caractériser les polluants atmosphériques dans différents milieux d'exposition des populations. Dans l'air ambiant autour des ICPE\*, dans l'air intérieur et aux postes de travail », explique Marc Durif, responsable de l'unité Milieux. Les techniques optiques reposent sur l'absorption de longueurs d'ondes lumineuses par les molécules de gaz présentes dans l'air. « Pour caractériser l'air ambiant, l'INERIS fait de plus en plus appel, au-delà des traditionnels analyseurs de gaz ponctuels, aux techniques optiques de conception plus récentes », explique Émeric Fréjafon, délégué scientifique de la direction des risques chroniques. Ces techniques comptent notamment :

- la spectroscopie par absorption optique différentielle (DOAS);
- la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR);
- la télédétection par laser (LIDAR) infrarouge ou ultraviolet.

Principaux avantages des techniques optiques? « Être sans contact, pouvoir se faire à distance et permettre la cartographie des concentrations en deux, voire trois dimensions », développe Émeric Fréjafon. Elles peuvent en outre détecter simultanément plusieurs polluants (jusqu'à huit) avec le LIDAR. « Ces techniques sont encore coûteuses et d'une mise en œuvre parfois assez lourde. » Un moyen plus rapide consiste à utiliser une caméra infrarouge pour détecter les zones de fuite et repérer les endroits à vérifier ensuite plus précisément. « Nous portons également de grands espoirs sur

le Solar Occultation Flux (SOF) comme outil de quantification de certaines émissions diffuses ou de hiérarchie des sources d'émission, signale François Gautier, ingénieur de l'unité Milieux. Cette nouvelle technique optique est nettement plus souple, car fondée sur la mesure de l'absorption du simple rayonnement solaire. »

### Traquer les nuisances olfactives

« L'odeur est une perception complexe qui varie fortement selon les personnes, l'heure ou le lieu, d'où la difficulté de quantifier cette nuisance », constate Anne-Sophie Clincke, ingénieur de l'unité Milieux. Les odeurs sont, par ailleurs, composées de centaines ou de milliers de molécules, dont la plupart sont inodores. Les deux principales familles de composés malodorants sont les soufrés - l'odeur d'œuf pourri de l'H<sub>2</sub>S est la plus connue - et les azotés (ammoniac, amines...). Ces composés sont fréquemment retrouvés en traitement de l'eau et des déchets, en réseau d'assainissement, en traitement des déchets d'animaux, dans l'industrie du papier et en pétrochimie. Dans ce domaine, les prestations de l'INERIS sont multiples: contrôle sur site industriel ou en réseau d'assainissement pour identifier les sources d'odeurs et vérifier le non-dépassement des valeurs réglementaires, évaluation des dispositifs de traitement des odeurs, mesures au sein des bâtiments ainsi que dans le voisinage des sites émetteurs, avec l'aide des réseaux de riverains bénévoles.

\* Installations classées pour la protection de l'environnement.

## Risque sanitaire: évaluation pour Performance Fibers

INERIS SOLUTIONS

Producteur mondial de fibres et de tissus industriels en polyester, Performance Fibers a mobilisé différentes expertises de l'INERIS pour s'assurer que les émissions d'acétaldéhyde de l'un de ses sites ne génèrent pas de situation préoccupante pour les riverains.

**François Gautier, ingénieur de l'unité Milieux:** Dans un premier temps, l'INERIS a déployé des outils de mesure pour expertiser les niveaux de concentration autour du site. D'une part, nous avons mis en œuvre des campagnes de mesure *in situ* pour confirmer que les émissions actuelles d'acétaldéhyde ne génèrent pas de situation préoccupante pour les riverains et pour vérifier l'éventuelle réactivité du composé chimique dans l'air. D'autre part, nous avons réalisé une modélisation de dispersion atmosphérique à partir du niveau de rejet le plus bas que l'entreprise a indiqué pouvoir atteindre. La mise en perspective de ces concentrations a été un atout pour l'interprétation du risque sanitaire.

### Guillaume Karr, ingénieur de l'unité Impact sanitaire et expositions:

Les résultats des campagnes nous ont permis d'analyser l'état actuel de l'environnement et d'en conclure que le risque sanitaire encouru par les populations riveraines n'est pas préoccupant. Ceux de la modélisation atmosphérique, de nous assurer que les émissions proposées par Performance Fibers ne sont pas critiques pour les riverains. L'analyse de l'environnement et l'évaluation prospective des risques ont été réalisées sur la base de la méthode d'évaluation des risques sanitaires décrite dans le guide méthodologique de l'INERIS\*. De plus, nous avons aidé Performance Fibers à identifier des solutions techniques, au niveau de ses procédés, qui permettraient de diminuer ses émissions d'acétaldéhyde, sous forme gazeuse et d'aérosols.

\* Évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des installations classées - Risques dus aux substances chimiques - INERIS, 2003.





L'exposition des professionnels à des substances gazeuses ou à des poussières nocives fait l'objet de mesures précises. L'INERIS contribue au respect de la réglementation en la matière.



## Hygiène professionnelle

# Contrôler l'exposition des travailleurs

La réduction des expositions par l'inhalation de substances gazeuses ou de poussières représente un enjeu majeur dans le monde professionnel. L'exposition à un air ambiant pollué concerne les travailleurs de nombreux secteurs industriels – de l'opérateur qui manipule des produits chimiques ou contenant des solvants (chimie, peinture, traitement de surface, etc.) à celui qui usine ou ponce des pièces métalliques (industrie mécanique), ou encore gère une installation de traitement des eaux usées susceptible de générer par fermentation des gaz toxiques comme le méthane ou l'hydrogène sulfuré ( $H_2S$ ).

Les limites d'exposition des travailleurs aux poussières et aux gaz font l'objet de réglementations très précises auxquelles les entreprises concernées doivent répondre. Pour y parvenir, elles s'appuient sur les prestations de laboratoires accrédités, comme l'INERIS. « Nous intervenons pour évaluer l'exposition respiratoire des personnes à leur poste de travail et vérifier que celle-ci n'est pas supérieure aux limites fixées par la

réglementation, explique Jessica Queron, ingénieur de l'unité Milieux. Le processus mis en œuvre consiste à mesurer, à l'aide de capteurs portatifs, la concentration en gaz ou en poussières se trouvant au voisinage des voies respiratoires de ces opérateurs. »

Les mesures sont réalisées selon une stratégie d'échantillonnage sur un groupe homogène d'opérateurs exposés aux mêmes types et niveaux de polluants (chaque personne porte un capteur au niveau du thorax et le garde toute la journée). L'analyse des gaz recueillis permet ensuite de vérifier les niveaux atteints.

« Afin d'identifier les sources d'exposition, l'INERIS effectue aussi des mesures dynamiques, avec vidéo, pour visualiser les dégagements de gaz ou de poussières au poste de travail et suivre leur propagation dans l'espace et dans le temps », complète Marc Durif. Ces mesures dynamiques donnent aux entreprises la possibilité d'identifier et d'orienter les actions correctives à conduire et, par la suite, de vérifier leur efficacité, pour améliorer les conditions de travail de leurs opérateurs.

### En savoir plus



– « EMIS », bulletin de la mesure et de la caractérisation des polluants dans les rejets atmosphériques de l'INERIS (en collaboration avec le ministère chargé de l'Écologie)  
<http://www.ineris.fr/ressources/recherche/iddoc=1947>  
– INERIS info n° 17 - Avril 2010  
<http://www.ineris.fr/centredoc/ineris-info-17-080610.pdf>  
– Programme 181 « Prévention des risques »  
<http://www.senat.fr/rap/I11-107-310/I11-107-31058.html>

## Essais interlaboratoires, un banc d'étalonnage innovant



**Jean Poulleau**, responsable de l'unité Sources et émissions de l'INERIS.

**Unique en Europe, le banc d'essais à l'émission de l'INERIS est un dispositif expérimental qui génère des effluents gazeux simulant les fumées issues d'installations industrielles de combustion (centrales thermiques, fours d'incinération, etc.).**

Ce banc – dont la deuxième version a été

inaugurée en mars 2010 – est employé pour réaliser des essais interlaboratoires. En effet, il peut accueillir simultanément jusqu'à 12 équipes issues d'organismes en charge du contrôle des rejets dans l'atmosphère des ICPE<sup>(1)</sup>. « Ces essais interlaboratoires constituent pour les organismes un préalable à l'obtention ou à la confirmation d'un agrément auprès du ministère chargé de l'Écologie », indique Jean Poulleau, responsable de l'unité Sources et émissions de l'INERIS. Grâce à ses trois chaudières (fioul, gaz naturel et biomasse), l'installation reproduit une grande variété d'effluents différents. « Le banc comporte 12 trappes permettant à chacune des équipes participantes de connecter ses appareils et d'effectuer ses

mesures avec le même polluant et au même instant », précise-t-il. Selon les besoins, les gaz générés peuvent être réchauffés ou humidifiés, afin de simuler des émissions en sortie de tour de lavage. On peut aussi les doper en polluants divers (NO, SO<sub>2</sub>, CO, COV<sup>(2)</sup>...) pour tester les matériels sur une gamme étendue de concentrations. Le banc permet aussi de qualifier des méthodes de mesure ou des instruments innovants, de simuler les effluents de nouveaux combustibles, etc.

1- Installations classées pour la protection de l'environnement.

2- Composés organiques volatils.



## EDF-INERIS: une relation qui monte en puissance

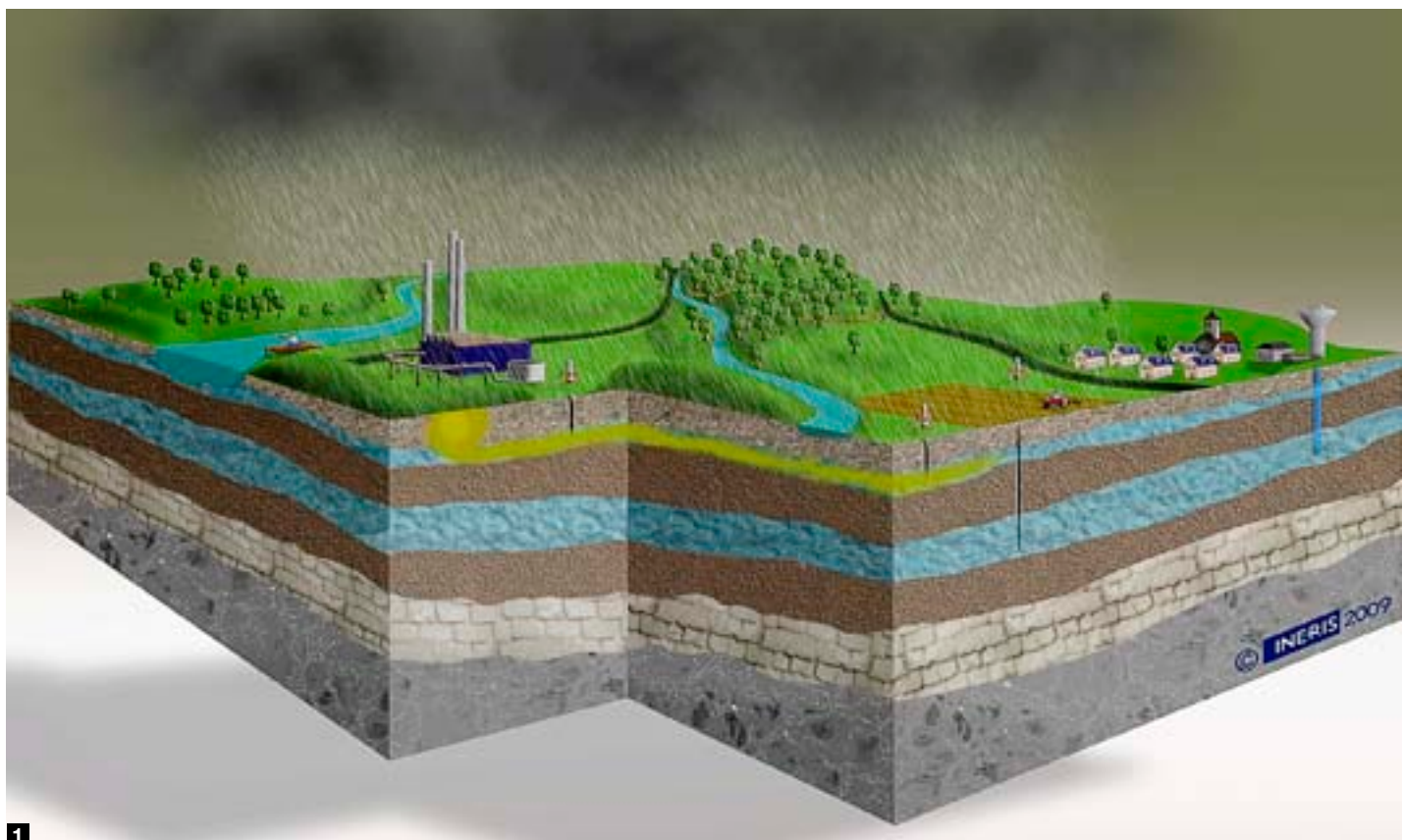
**La Division technique générale d'EDF (DTG) recourt depuis longtemps aux services de l'INERIS, entre autres pour le contrôle réglementaire annuel des rejets atmosphériques issus des centrales thermiques.** « Les mesures de l'INERIS nous donnent l'occasion de vérifier nos propres contrôles », indique Benoît Lanneau, chargé d'affaires de l'équipe Émissions atmosphériques chez EDF-DTG, à Grenoble. Récemment, nos liens avec l'INERIS se sont fortement resserrés, car la DTG a la volonté de monter en compétence dans le domaine de l'analyse des gaz et de parfaire sa maîtrise de la chaîne de mesure et des procédures d'essais. »

En août dernier, l'équipe Émissions atmosphériques de la DTG (quatre personnes) est venue à Verneuil-en-Halatte, dans l'Oise, pour trois jours de formation, tant théorique que pratique. « Nous avons pu mettre en œuvre nos appareils de mesure sur le banc d'essais à l'émission de l'INERIS et, ainsi, comparer nos résultats avec les siens. Nous avons vérifié la cohérence de nos mesures, observé les dérives dans le temps, réduit nos incertitudes... », relate Benoît Lanneau. Il est prévu de poursuivre ce travail de comparaison et d'amélioration au cours d'interventions spécifiques de l'INERIS sur certains sites de production d'EDF.



**Benoît Lanneau**, chargé d'affaires de l'équipe Émissions atmosphériques chez EDF-DTG, à Grenoble.





## Sites et sols pollués

# Évaluation et réduction des impacts

La reconversion des sites pollués est un sujet de préoccupation actuel qui conjugue des enjeux de santé publique et de gestion des territoires.

À la suite des derniers référentiels réglementaires de 2007 et 2008, de nouvelles démarches de gestion ont été mises en place concernant la remédiation des sites pollués : principalement, l'« interprétation de l'état des milieux (IEM) » pour les environnements déjà urbanisés, occupés ; en second lieu, le « plan de gestion » pour les sites à urbaniser ou à réhabiliter. Le principe de gestion des risques en fonction de l'usage des sols est ainsi pérennisé, tout en s'attachant à initier des actions de suppression ou de réduction des sources de pollution dans des conditions technico-économiques adaptées. Pour répondre aux préoccupations sanitaires et environnementales, l'INERIS dispose d'équipes aux compétences complémentaires, qui lui permettent d'assurer, dans des contextes variés, la meilleure expertise disponible en l'état actuel des connaissances. Ainsi, l'Institut établit des diagnostics et réalise des modélisations de migrations de polluants, notamment dans les eaux souterraines, l'air ambiant ou les sols, afin d'aboutir à la meilleure caractérisation possible de la qualité des milieux d'expositions et des risques associés.

## Étape 1 : déployer les démarches

Les démarches de gestion et de réaménagement des sites pollués se basent, en amont, sur la réalisation du schéma conceptuel, qui consiste à formaliser les relations entre les sources de contamination, les vecteurs et/ou milieux de transferts et les populations et environnements protégés. Ce schéma nous aide à réaliser les diagnostics appropriés sur le terrain, notamment pour évaluer les transferts de polluants vers les compartiments environnementaux. À partir des résultats obtenus, nous proposons la démarche de gestion la plus adaptée. L'« interprétation de l'état des milieux » (IEM) repose sur une gestion sanitaire et environnementale de l'environnement en l'état. Elle permet de vérifier la compatibilité des milieux (air, eau, sols, etc.) avec les usages fixés ou constatés. Le « plan de gestion » consiste à déterminer, sur le site pollué, les opérations de dépollution et/ou les aménagements qui préservent ou limitent les risques liés à la pollution. Enfin, au cas par cas, nous déroulons des outils d'évaluation de risques sanitaires, comme l'analyse des risques résiduels (ARR) ou l'évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS), selon les situations. Ces outils servent à vérifier que les expositions ne sont pas préoccupantes.

Aurélie Droissart





2



3

## Talents

**1** Illustration de la migration d'un panache de pollution en profondeur (avec impact sur les eaux souterraines).

**2** Fabrice Quiot, ingénieur de l'unité Comportement des contaminants dans les sols et matériaux.

**3** Aurélie Droissart et Corinne Hulot, ingénieurs de l'unité Impact sanitaire et expositions.

## Étape 2: diagnostiquer les impacts des polluants

### Sur les eaux souterraines

L'impact à l'extérieur d'un site pollué, lorsqu'il existe, concerne plus généralement les eaux souterraines. Sur la base du schéma conceptuel, nous diagnostiquons le type de pollution par le biais de mesures, qui font appel à des méthodologies d'échantillonnages et d'analyses spécifiques, que nous contribuons à développer. Nous mettons en œuvre aussi des outils de modélisation des transferts des contaminants entre les sols pollués et les eaux souterraines, qui nous permettent, en amont des campagnes de mesures, d'optimiser les investigations sur le terrain et, en aval, de compléter les informations obtenues. Les eaux peuvent être à la fois un milieu de transfert et un enjeu à protéger pour l'alimentation en eau potable. Globalement, les installations à risques sont équipées de systèmes de contrôle et de surveillance de la qualité des eaux souterraines pour détecter les pollutions. Ces données d'observation nous permettent de proposer des actions de gestion portant aussi bien sur les sources à l'origine des pollutions que sur les milieux concernés. Une pollution des eaux souterraines peut entraîner la pollution d'autres milieux, comme les cours d'eau ou encore les gaz du sol. La surveillance des eaux souterraines constitue, depuis plusieurs années, l'un des thèmes d'action importants de l'inspection des ICPE\*. Elle a été inscrite dans le premier Plan national santé environnement.

**Fabrice Quiot**

\* Installations classées pour la protection de l'environnement.

### Dans l'air

De manière complémentaire aux travaux présentés par Fabrice Quiot, l'impact d'un site pollué doit aussi être évalué au regard des transferts potentiels des contaminants vers l'air. Dans ce contexte, l'étude des gaz du sol nous apporte de nombreuses informations sur les substances volatiles présentes dans les sols pollués ou sur l'étendue d'une pollution sur un site. Ainsi, nous mettons en œuvre et nous testons les outils les plus appropriés aux problématiques étudiées: typologies constructives d'ouvrages permanents (piézaires), supports de piégeage adaptés aux substances d'intérêt, méthodes d'analyses, etc. Dans certaines situations, il peut nous être nécessaire de lancer des campagnes de mesures assez « lourdes », coûteuses et sur des périodes plutôt longues, afin d'obtenir un échantillonnage et des résultats analytiques représentatifs. Ces campagnes de gaz des sols, et également d'air ambiant, se trouveront souvent totalement justifiées au regard des enjeux de santé publique ou environnementaux identifiés, et afin qu'exploitants et pouvoirs publics s'assurent de la pertinence et de l'efficacité des mesures de gestion prises par la suite. Plusieurs de nos programmes d'études portent actuellement sur le cas particulier des pollutions de sols par des solvants chlorés (pollutions historiques ou liées à des installations industrielles en activité), notamment par des contributions à des programmes de recherche nationaux et européens (FLUXOBAT et CITYCHLOR, en particulier).

**Corinne Hulot**

Les activités industrielles au sein des ICPE doivent répondre à des normes très strictes d'émission de polluants volatils. Peut-on se fier aux détecteurs proposés par les fabricants ?



Exemple d'un site classé ICPE : la raffinerie de Fos-sur-Mer, dans les Bouches-du-Rhône.

# Détecteurs PID : des mesures fiables ?

**P**our détecter en temps réel des polluants chimiques, en particulier des composés organiques volatils (COV), et pour mesurer les niveaux de pollution, les professionnels recourent aux détecteurs à photoionisation (PID) portatifs. Certaines des substances surveillées sont répertoriées comme « CMR », c'est-à-dire cancérogènes, mutagènes et/ou reprotoxiques.

Les PID sont principalement utilisés à des fins d'hygiène et de sécurité dans les atmosphères des lieux de travail, mais ils peuvent aussi servir à mesurer des niveaux de pollutions, afin de réduire les émissions industrielles et de répondre aux normes de la réglementation des ICPE<sup>(1)</sup>.

La controverse autour de ces appareils concerne la fiabilité de leurs résultats. En effet, « les PID disponibles sur le marché ne font pas l'objet d'une réglementation particulière pour contraindre les fabricants à procéder à leur évaluation par un laboratoire indépendant », souligne Bernard Piquette, directeur adjoint de la direction des risques accidentels.

Conséquence ? Les utilisateurs – notamment les grands donneurs d'ordre industriels comme Total, Veolia, Areva ou Lubrizol – ne

disposent pas de données impartiales sur cette technologie. D'où la difficulté d'apprécier la pertinence de leurs équipements selon les besoins (détection ou mesure de concentrations précises) opposables vis-à-vis de la réglementation, notamment celle des ICPE. Organisée par l'Exera<sup>(2)</sup> et cofinancée par le ministère chargé de l'Écologie dans le cadre d'un programme d'appui, une campagne d'essais a donc été conduite par l'INERIS de 2010 à 2011. Son but était de comparer les performances métrologiques des principaux PID utilisés en France.

## Essais comparatifs de cinq appareils

Cette campagne a été menée selon un protocole précis, mis en place par une commission technique de l'Exera. Cinq appareils de marques différentes, représentatives du marché, ont été testés dans un premier temps en laboratoire *via* un banc d'essais spécialement conçu à cet effet. Dans un second temps, les tests se sont déroulés *in situ*, sur un site chimique industriel.

« Nous avons évalué deux types d'appareils : trois appareils dédiés à la mesure de COV et deux appareils multigaz embarquant différentes cellules en plus de la cellule PID, indique

Bernard Piquette. Les appareils ont été testés simultanément dans des conditions environnementales et opératoires identiques. Les résultats obtenus ont ensuite été comparés aux spécifications techniques annoncées par les fabricants pour chacun des équipements. »

## Des PID globalement sûrs

Premier résultat marquant, « nos études ont mis en évidence que les facteurs de réponse mesurés sont, dans l'ensemble, comparables à ceux fournis par les fabricants ». En moyenne, les écarts constatés atteignent environ 20 %, ce qui « paraît acceptable au regard des incertitudes relatives à la méthode de génération et d'analyse des gaz d'essai et de détermination des facteurs de réponses », ajoute Bernard Piquette.

En revanche, il a été observé que les variations des conditions ambiantes (température, humidité, pression) influencent la réponse des appareils. L'incidence de l'humidité se révèle d'autant plus marquée que la température est élevée. « L'expérimentation sur site industriel s'est déroulée par temps de pluie. Or, l'un des appareils s'est avéré hors service ! » Autre aspect déterminant, les essais ont permis de constater que le temps de retour à zéro

## Essais en laboratoire et sur site



**Bernard Piquette**,  
directeur adjoint  
de la direction  
des risques  
accidentels.

### Comment la campagne d'essais en laboratoire a-t-elle été mise en place ?

Un protocole listant tous les essais à réaliser (substances à tester, conditions ambiantes et performances à évaluer) a été établi, en 2009, au sein d'une commission technique de l'Exera<sup>(1)</sup>, associant l'INERIS et l'INRS<sup>(2)</sup> à des utilisateurs industriels. Ce protocole s'est inspiré d'une évaluation déjà réalisée par l'INRS.

Ensuite, notre préoccupation commune a été de savoir comment réaliser ces essais,

qui ont nécessité la conception et la validation d'un banc d'essais spécifique. Celui-ci a permis la génération d'atmosphères polluées en vapeurs organiques dans des conditions maîtrisées (concentration, température et humidité). Cette génération a été réalisée à partir d'une méthode volumétrique dynamique par injection liquide. Une fois ce travail terminé, nous avons démarré les essais en laboratoire.

### Vous avez ensuite mené des essais de performance sur un site chimique français.

Sur le terrain, les points de fuite ne sont pas forcément localisés. Les premières mesures ont donc évalué les émissions diffuses de composés organiques volatils (COV). Fixés à un chariot roulant sur une unité de production à l'air libre, les détecteurs ont relevé des données

à proximité d'une vingtaine de sources d'émissions fugitives potentielles : garnitures de pompes et d'agitateurs, brides, vannes, etc.

Le jour des mesures, par temps pluvieux et à 15°C, nous avons constaté que deux appareils sur les cinq testés présentaient des défauts d'étanchéité!

Des mesures d'émissions canalisées de COV ont également été menées en sortie d'extraction d'un laveur à eau. Nous avons observé qu'un des détecteurs sous-évaluait systématiquement les concentrations dépassant 300 parties par million (ppm).

1- Association des exploitants d'équipements de mesure, de régulation et d'automatisme.

2- Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

## Sur le terrain

# Des données objectives pour choisir les produits

### Pourquoi l'Exera\* a-t-il participé à cette campagne d'évaluation ?

Les industriels ne disposent pas toujours de l'expertise requise pour l'évaluation des barrières techniques de sécurité, ni pour mener des essais comparatifs sur les différents produits du marché. Néanmoins, ils ont un besoin crucial d'informations fiables sur les performances des PID. Cette exigence est d'autant plus forte que ces instruments mesurent des composés répertoriés cancérigènes, mutagènes et/ou reprotoxiques (CMR).

### Que vous apportent, concrètement, les résultats des tests sur les PID ?

Outre le rapport de synthèse de l'INERIS, qui donne un avis global sur les appareils sans citer de nom

de marque, l'essai a permis d'établir des fiches techniques sur chacun des équipements pour le compte de l'Exera. Nos adhérents peuvent donc comparer les différents PID et choisir les produits adaptés à leurs besoins.

### Quelles sont les principales activités de l'Exera ?

Nous produisons des rapports d'évaluation de matériels et des guides. L'Exera est aussi un observatoire unique de l'évolution des techniques.

\*Association des exploitants d'équipements de mesure, de régulation et d'automatisme.



**Vincent Bourdier**,  
chef du département  
Contrôle avancé/  
analyseurs chez Total  
et membre de la  
commission technique  
Analyseurs industriels/  
Détection sécurité (AIDS)  
de l'Exera.

des détecteurs peut être significativement augmenté (jusqu'à plus de deux heures) en raison de l'exposition à une atmosphère polluée par des vapeurs de solvants. En particulier, « les temps de réponse et de récupération peuvent être très variables d'un type d'appareil à l'autre et d'une substance à l'autre. D'où la nécessité de bien vérifier les appareils avant chaque utilisation ». D'une manière générale, « la majorité des instruments se sont montrés fiables », conclut Bernard Piquette.

Mais prudence! Les PID doivent être manipulés par des professionnels avertis, capables de réaliser une analyse critique de

l'information donnée. Autant de données essentielles mises à disposition par l'INERIS. Son rapport de synthèse apporte désormais aux industriels et aux pouvoirs publics un nouvel éclairage sur les limites et les avantages de la technologie des PID.

1- Installations classées pour la protection de l'environnement.

2- Association des exploitants d'équipements de mesure, de régulation et d'automatisme.

## En savoir plus

– [www.exera.com](http://www.exera.com)  
– Rapport de synthèse « Évaluation des performances de détecteurs portatifs à photoionisation » accessible sur :  
[www.ineris.fr/centredoc/dra-11-117743-08538a1-1338816735.pdf](http://www.ineris.fr/centredoc/dra-11-117743-08538a1-1338816735.pdf)





# Simuler l'impact des mouvements de terrain sur le bâti

En France, les mouvements de terrain – affaissement, effondrement – exposent une grande partie de la population. Pour comprendre ce risque majeur, l'INERIS développe, depuis 2008, un simulateur unique en Europe.

La direction des risques du sol et sous-sol de l'INERIS pilote, depuis 2008, le développement d'un simulateur de mouvements de terrain, utilisé en appui au programme « Mitigation du risque », impulsé par le ministère chargé de l'Écologie.

Cet outil s'inscrit également dans la recherche « Évaluation et réduction de la vulnérabilité des biens aux aléas naturels et miniers ». Ses objectifs :

- constituer une base de données experte sur les différents types d'interaction sol-structure ;
- évaluer la performance de solutions de protection des constructions telles que les tranchées périphériques et les géotextiles.

Situé dans un hall d'essai de l'INERIS à Verneuil-en-Halatte, dans l'Oise, le simulateur reproduit différents types de mouvement de terrain, de l'apparition de cratères d'effondrement, dus aux fontis, à la formation de grandes cuvettes d'affaissement liées à l'exploitation minière.

## À savoir

### L'impact du changement climatique

Les variations de température et de précipitations provoquent des phénomènes de retrait et de gonflement dans les sols argileux, sources de désordre dans les constructions. Pour étudier ce phénomène, l'INERIS conduit l'un des axes du programme de recherche ARGIC 2, piloté notamment par Jean-Bernard Kazmierczak, responsable de l'unité Risques naturels, ouvrages et stockages. Ce programme s'intéresse à tous les aspects de l'impact du retrait-gonflement sur les structures d'habitations (caractérisations, préconisations techniques de réparation et de construction, etc.). Par exemple, le lien entre la variation d'humidité et de gonflement a été étudié au moyen d'un microscope électronique à balayage environnemental (MEBE) et d'un dispositif innovant, afin d'évaluer les amplitudes de mouvement attendues sur les structures.

**Contact:** Jean-Bernard Kazmierczak.  
jean-bernard.kazmierczak@ineris.fr



Plateforme d'essai spécifique des conséquences des mouvements de terrain.

## 1 Reproduire l'aléa Simuler et observer les mouvements

« Le risque est un "croisement" entre l'aléa et l'enjeu que représente la présence de structures en surface, explique Jean-Bernard Kazmierczak, responsable de l'unité Risques naturels, ouvrages et stockages. On peut le diminuer soit en réduisant l'aléa, soit en protégeant l'enjeu. L'INERIS mobilise le simulateur pour travailler sur la protection de l'enjeu en reproduisant l'aléa. »

Pour ce faire, le simulateur – une cuve de 3 m x 2 m – reproduit l'ensemble des désordres en surface provoqués par les affaissements et les fontis d'origines naturelle ou anthropique. L'appareil, conçu en acier pour ne pas se déformer, peut recueillir 6 m<sup>3</sup> de géomatériau (actuellement du sable de Fontainebleau), soit 10 t de charge. Ce modèle permet de représenter, à échelle de 1/10<sup>e</sup> à 1/50<sup>e</sup>, un terrain mesurant jusqu'à 100 x 150 m par 50 m d'épaisseur.

La motorisation de la cuve se fait au moyen de vérins, qui appliquent des sollicitations en sous-face du massif de sol reconstitué avec le sable. Ces dernières combinent plusieurs paramètres : extension, amplitude, cinématique, progression, etc. Seize vérins sont actuellement utilisables et, à terme, 48 le seront en vue de reproduire des mouvements encore plus complexes.

Le phénomène d'interaction des mouvements de terrain est étudié à partir d'une maquette de structure positionnée dans la cuvette d'affaissement et représentative du comportement macroscopique d'une maison d'habitation individuelle.

# vements



Maquette de maison réalisée en morceaux de sucre, aimants et silicone pour les simulations de déformation.



Vue d'un effondrement à Roquevaire, en Provence.

## 2 Étudier l'impact Modélisation: sucre et haute résolution

**Les premières campagnes d'essai ont eu lieu en 2008.**

Elles ont d'abord permis de déterminer les caractéristiques de la sollicitation à appliquer selon celles du mouvement de terrain en surface, puis de définir les conditions de reproductibilité des simulations. Depuis, l'instrumentation s'est enrichie d'un équipement innovant basé sur des caméras 3D et sur un procédé de corrélation d'images pour suivre les déformations en surface.

Dans un second temps, l'objectif a été de comprendre le mécanisme de transmission des déformations du sol à la structure en surface. Il s'est agi aussi d'étudier comment ces déformations étaient elles-mêmes modifiées par la rigidité et la masse de la structure. Afin de s'affranchir des limites et des contraintes du modèle physique, des simulations numériques ont été développées et validées à partir des résultats expérimentaux. « Nous avons également fait évoluer le modèle de la structure d'habitation, qui ne nous satisfaisait pas, précise Jean-Bernard Kazmierczak. Après plusieurs essais de divers matériaux, nous avons choisi un modèle de maison réalisé à partir de morceaux de sucre (parpaings), d'aimants (ciment) et de silicone (fondations). Enfin, pour faciliter la reproductibilité des essais et rendre crédibles du même coup les résultats, nous avons dû définir des protocoles de mise en place du sable extrêmement rigoureux. »

## 3 Proposer des solutions Un outil pour les collectivités et les industriels

**Le simulateur est un outil de recherche appliquée** destiné à répondre aux besoins de la société civile en matière de protection contre les risques majeurs et, plus précisément, aux demandes d'expertises des collectivités et des industriels. En effet, la recherche de solutions constructives pour protéger les habitations des risques d'affaissement constitue un axe de développement majeur.

Actuellement, l'unité Risques naturels, ouvrages et stockages travaille sur l'évaluation de la solution dite de « tranchée périphérique ». Elle consiste à placer autour de la structure bâtie un élément tampon, afin de limiter les déformations de l'habitation.

Différents paramètres (dimensions de la tranchée, profondeur, distance, etc.) et matériaux (tourbe, paille, granulats) sont à l'étude. En cours d'essai aussi, l'efficacité de solutions à base de géotextiles (via des films plastique équivalents). Dans les années à venir, les capacités du modèle seront élargies de façon à simuler d'autres types d'aléas, principalement le retrait-gonflement des argiles.

La poursuite de la modélisation numérique de mouvements de plus en plus complexes (intégrant le risque multialéa) et l'utilisation d'une maquette de structure plus proche de la réalité continueront à accompagner ces développements.



## Ensemble

**Fike Corporation/INERIS** - Fruit d'une collaboration étroite depuis plusieurs années, les travaux de recherche appliquée de Fike Corporation, spécialiste des systèmes de protection contre les explosions, et de l'INERIS ont l'ambition de contribuer à de nouvelles avancées dans le domaine des risques d'explosion.

# Risques d'explosion: vers une stratégie de recherche appliquée?

## À savoir

La collaboration entre **Fike Corporation et l'INERIS** a commencé, à la fin des années 1980, par des essais d'événements d'explosion. Elle s'est ensuite intensifiée jusqu'aux premiers travaux de recherche communs, qui ont abouti aux communications à l'ISHPMIE<sup>(2)</sup>.

**Emmanuel Leprette**, responsable de l'unité Explosion/dispersion à l'INERIS.

**Jef Snoeys**, responsable du département Technologies de protection contre l'explosion, Fike Corporation.

### Comment ce partenariat est-il né?

**Emmanuel Leprette, INERIS:** Notre collaboration est née il y a plus de vingt ans, à l'époque du Cerchar<sup>(1)</sup>. À l'origine, il s'agissait de tester du matériel de protection contre les explosions, puis le partenariat a évolué vers des travaux plus scientifiques.

**Jef Snoeys, Fike Corporation:** En effet, nous avons dû nous adapter aux nouvelles exigences de sécurité, introduites notamment par la mise en œuvre de la réglementation ATEX. Avec l'INERIS, nous avons été les premiers à tester du matériel comme les événements à grande échelle.

### Quels sont vos travaux communs?

**J. S.:** Fike Corporation commercialise des systèmes à la pointe des dernières technologies; la fiabilité et la sécurité de nos produits sont donc primordiales. Nous partageons avec l'INERIS un intérêt scientifique commun pour l'étude des explosions de poussières et, en particulier, l'effet des phénomènes de turbulence sur ce type d'explosion. L'INERIS nous permet de tester nos produits en amont de leur commercialisation, non seulement dans un cadre standardisé, mais aussi en conditions réelles.

**E. L.:** Les essais que nous mettons en place et nos outils de simulation numérique nous permettent de valider et de faire la promotion de nouvelles méthodes de dimensionnement de ses systèmes de protection. Nous communiquons, depuis 2006, les résultats de nos travaux à l'ISHPMIE<sup>(2)</sup>, travaux pour lesquels nous avons été récompensés lors de l'édition 2010 au Japon.

### Que vous apporte ce partenariat?

**J. S.:** L'INERIS, avant tout, comprend nos besoins. Chez Fike Corporation, nous avons la conviction que nous pouvons apporter un nouvel éclairage scientifique dans le domaine de l'explosion. Il ne faut pas s'en tenir à ce que la réglementation exige: nous souhaitons accroître les connaissances sur ces phénomènes dangereux et aider l'industrie à améliorer son niveau de sécurité. L'INERIS est capable de développer une approche expérimentale au-delà des standards et ses experts sont non seulement des ingénieurs, mais aussi des scientifiques. C'est cela que nous recherchons.

**E. L.:** Fike Corporation est un partenaire majeur pour l'INERIS. C'est avant tout un promoteur de la recherche dans le domaine de la sécurité globale et nous partageons cette philosophie. Ce partenariat nous permet de mieux comprendre les besoins des industriels et de nous adapter continuellement à l'évolution de ces besoins. Nous ne pouvons y parvenir sans une collaboration scientifique très en amont, comme nous l'avons fait avec Fike Corporation. Un partenariat industriel fort est aussi la garantie de pouvoir réaliser de véritables projets de recherche appliquée, c'est-à-dire des recherches dont les enseignements soient ensuite utilisables sur le terrain par les industriels. La mise en commun de nos moyens nous permet de mettre au point des essais simulant au mieux les situations réelles complexes que rencontre l'industrie. Nous travaillons aujourd'hui, avec Fike Corporation et d'autres partenaires, à la conception d'installations expérimentales qui soient capables de satisfaire cette exigence.

1- Centre d'études et recherches des charbonnages de France, devenu INERIS en 1990 par sa fusion avec l'Institut de recherche en chimie appliquée (Ircha).

2- International Symposium on Hazards, Prevention and Mitigation of Industrial Explosions.