

RAPPORT SCIENTIFIQUE 2014-2015



INERIS

*maîtriser le risque |
pour un développement durable*



Créé en 1990, l'INERIS, Institut national de l'environnement industriel et des risques, est un établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

RAPPORT SCIENTIFIQUE 2014-2015



INTRODUCTION

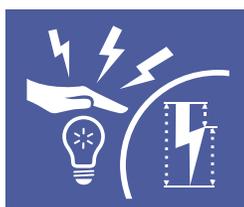
Prendre en compte le changement climatique pour la maîtrise des risques	4
Vers une évolution des modes de production et de l'utilisation de l'énergie	6
Se positionner comme ensemble de la recherche appliquée au niveau européen	8



ACCOMPAGNER LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE et l'économie circulaire



Fuites d'hydrogène sous pression enflammées et non enflammées : concentration, mesure de turbulence et effets de surpression	12
Procédés de méthanisation et gestion des risques industriels Retour d'expérience en France et en Allemagne	14
Étude expérimentale du comportement au feu d'électrolytes de batteries Li-ion	16
Enseignements du suivi de l'injection de 120 kg de CO ₂ dans une veine de charbon à l'aide d'un monitoring microsismique et d'un monitoring des gaz en continu	18
Les bénéfices sanitaires d'une meilleure qualité de l'air induits par une politique climatique ambitieuse compensent les coûts de réduction des émissions en Europe	20
Vers un premier état des lieux des problématiques de corrosion dans les bioraffineries avancées : premiers résultats du projet ECORBIO	22



ANTICIPER LES RISQUES ÉMERGENTS



Étude du comportement d'un revêtement nanostructuré soumis à des sollicitations climatiques et mécaniques	26
FOCUS S-Nano : plateforme d'étude des propriétés dangereuses des nanomatériaux	28
Effets d'une exposition chronique aux ondes radiofréquences sur la préférence thermique	29



COMPRENDRE ET MAÎTRISER LES RISQUES à l'échelle d'un site industriel ou d'un territoire 32

Le projet européen HELIX
Exposome et modélisation toxicocinétique 34

Une méthodologie d'aide à la décision pour évaluer des stratégies
de gestion durable des risques naturels dans les zones urbaines 36

Retour d'expérience sur l'effondrement de Clamart
du 1^{er} juin 1961: synthèse et analyse technique 38

FOCUS Prévenir le risque NaTech en tirant les leçons du séisme
du Japon de mars 2011 40

Modélisation du panache odorant de Lubrizol 41

FOCUS Impact du changement climatique sur la stabilité des versants naturels 43

Évaluation des risques environnementaux de déchiquetats de pneus
dans des structures de génie civil 44



CARACTÉRISER LES DANGERS DES SUBSTANCES ET PRODUITS, et leurs impacts sur l'air, l'eau, les sols et les organismes vivants 46

Compréhension des sources et des processus de formation
de la pollution particulaire dans l'air ambiant 48

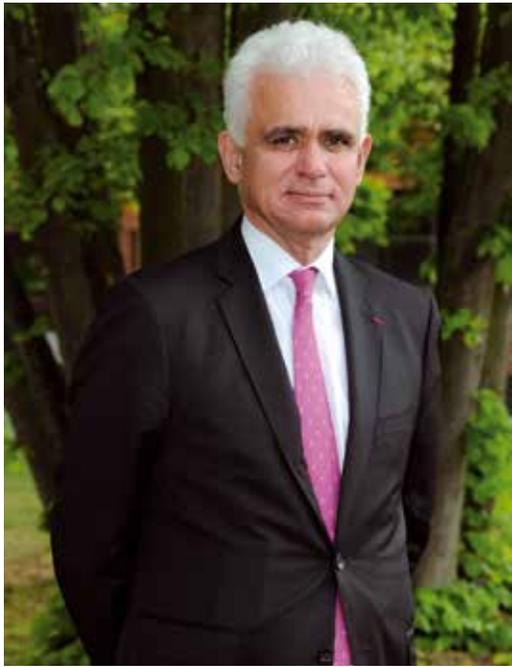
FOCUS Principaux axes d'évolution de la surveillance de la qualité de l'air 50

Évaluation de modèles (Q)SAR pour la prédiction de la génotoxicité d'Ames:
un exercice rétrospectif sur les substances chimiques enregistrées
dans le cadre du règlement européen REACH 51

FOCUS Les acariens prédateurs: modèle biologique pour l'évaluation
de l'écotoxicité des sols 53

Développement d'approches d'évaluation des dangers (éco)toxicologiques
de substances émergentes issues de la chimie verte: les liquides ioniques. 54

ANNEXES 56



Raymond Cointe

Directeur général de l'INERIS

PRENDRE EN COMPTE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE pour la maîtrise des risques

Il y aura bientôt trente ans la communauté scientifique réunie à Toronto alertait sur les risques liés à l'effet de serre. Elle suggérait un premier objectif global de réduction des émissions de CO₂. La même année, en 1988, il était décidé de mettre en place un mécanisme intergouvernemental pour étudier le changement climatique - le GIEC.

La France a joué un rôle essentiel à partir de la fin des années 80 dans la prise de conscience mondiale sur les questions d'environnement et de changement climatique. Le sommet du G7 de l'Arche, en 1989, a été le premier à évoquer la limitation des émissions de gaz à effet de serre et c'est un français, Jean Ripert, qui a mené les négociations qui ont conduit en 1992 à l'adoption de la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.

Aujourd'hui, la France est à nouveau à l'avant-garde de la lutte contre les changements climatiques en accueillant la 21^e conférence des parties (COP 21) à la convention climat. Cette mobilisation sur le front diplomatique s'accompagne aussi, aujourd'hui comme hier, d'une forte mobilisation pour agir au niveau national: création de l'INERIS en 1990 puis de l'ADEME en 1991, loi sur la transition énergétique en 2015.

Il y a 25 ans, changement climatique rimait essentiellement avec maîtrise de l'énergie et c'est tout naturellement que l'ADEME s'est trouvée au cœur de l'action nationale de lutte contre l'effet de serre. Mais l'on prend progressivement conscience que la prévention du risque climatique - la mitigation - ne passe plus seulement par la maîtrise de l'énergie mais aussi plus largement

par la transition énergétique. On prend aussi progressivement conscience que l'adaptation au changement climatique est inéluctable, quels que soient les efforts de mitigation.

C'est pourquoi l'INERIS, qui quittait juste l'ère du charbon en 1990, a achevé sa mue en se mobilisant aujourd'hui fortement sur les défis du changement climatique dans ses domaines de compétence. La nécessité d'innover pour répondre aux défis de la transition énergétique en maîtrisant les risques et celle de réévaluer les risques industriels et environnementaux à la lumière d'un climat qui change font en effet aujourd'hui partie de ses priorités. Mais l'innovation, pourtant si attendue, fait surgir des questionnements et des craintes face aux possibles conséquences négatives que les nouvelles technologies peuvent engendrer. L'INERIS tente de répondre à ces questions notamment en accompagnant la société dans l'étude des risques très en amont du développement des nouvelles filières et des nouveaux produits. Dans ce rapport, plusieurs exemples illustrent ce positionnement stratégique de l'Institut: accompagnement de la transition énergétique (nouvelles filières comme la méthanisation, l'hydrogène, les batteries Li-ion), adaptation au changement climatique (stabilité des versants, risques naturels technologiques - NaTech, qualité de l'air) et, plus largement, anticipation des risques émergents (nanomatériaux et champs électromagnétiques)...

Ce contexte crée de nouvelles exigences et conduit l'INERIS à exercer ses activités dans un monde où la crédibilité de l'expertise ne s'impose plus, voire fait l'objet de controverses, les critiques récurrentes du GIEC sont là pour nous le rappeler. La nécessité de prendre des décisions dans un contexte d'incertitudes montre l'importance des

règles de gouvernance qui s'attachent aux travaux de recherche et d'expertise dans le domaine des risques environnementaux. C'est pourquoi l'Institut, qui a mis en place depuis plusieurs années la Commission d'orientation de la recherche et de l'expertise (CORE qui regroupe industriels, associations de protection de l'environnement et de consommateurs, élus, syndicats,

scientifiques, représentants de l'État) et qui organise régulièrement des réunions avec les ONG, est soucieux de toujours renforcer le dialogue avec les représentants de la société. Prendre en compte les « savoirs profanes », partager l'information avec les citoyens, répondre aux attentes d'information du public, partager le savoir sont autant d'engagements forts de l'INERIS.



Nearly thirty years ago, the scientific community met in Toronto and sounded the alert about the risks linked to the greenhouse effect. It suggested as a first global objective the lowering of CO₂ emissions. That same year, 1988, a decision was made to institute an intergovernmental mechanism to study climate change, the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

From the end of the 1980s, France has played an important role in raising world consciousness of environmental questions and climate change. The Arche G7 summit in 1989 was the first to evoke the limitation of greenhouse gas emissions, and it was the French economist and diplomat Jean Ripert who led the negotiations which concluded in the adoption of the United Nations Framework Convention on Climate Change in 1992.

Today, France is once again at the forefront in the fight against climate change, as it is hosting the 21st session of the Conference of Parties (COP 21), the United Nations Conference on Climate Change. This mobilisation on the diplomatic front will be accompanied, as it always has been, by a strong mobilisation on the national level: the creation of INERIS in 1990, ADEME in 1991 and a law on energy transition in 2015.

Twenty-five years ago, climate change was generally considered synonymous with energy management, and thus ADEME was naturally at the heart of the nation's fight against the greenhouse effect. However, we are progressively learning that the prevention of climatic risk - mitigation - is not only a product of controlling energy use, but, more globally, of energy transition. We are also progressively learning that adaptation to climate change is inevitable, whatever our mitigation efforts may be.

Therefore, INERIS, which was just coming out of the coal period in 1990, has completed its metamorphosis by mobilising its current efforts on the challenges

of climate change within its areas of expertise. The need for innovation to respond to the challenges of energy transition by controlling risks and of re-evaluating industrial and environmental risks in the light of a changing climate are today part of its priorities. However, innovation, while it is awaited, raises questions and fears concerning the possible negative consequences that new technologies might engender. INERIS attempts to answer these questions, notably by assisting society in studying risks upstream from the development of new sectors and products. In this report, several examples illustrate the Institute's strategic position: guidance in energy transition (new technologies such as methanization, hydrogen, lithium-ion batteries), adaptation to climate change (slope stability, natural technological risks - Na Tech, air quality) and, more globally, anticipation of emerging risks (nanomaterials and electromagnetic fields), etc.

This context creates new requirements and is driving INERIS to exercise its activities in a world where the credibility of expertise is no longer sufficient and is even the object of controversy, as the recurrent criticisms directed toward the IPCC remind us. The need to make decisions in a context of uncertainty shows the importance of rules of governance attached to research and expertise in the field of environmental risks. Thus, several years ago, the Institute created the Commission for the Orientation of Research and Expertise (Commission d'orientation de la recherche et de l'expertise or CORE, which joins together industry leaders, environmental and consumer protection associations, elected officials, unions, scientists, representatives of the State), which organises on a regular basis meetings with NGOs and is constantly encouraging dialogue with society representatives. INERIS's most important commitments are taking into account knowhow, sharing information with citizens, responding to the expectations of the public for information, and sharing knowledge.



Pierre Toulhoat
Directeur scientifique de l'INERIS

VERS UNE ÉVOLUTION DES MODES DE PRODUCTION et de l'utilisation de l'énergie

Un colloque organisé à l'occasion des 25 ans de l'INERIS a permis d'évoquer les priorités du prochain Contrat d'objectifs et de performance (2016-2020) et d'entamer une démarche prospective de plus long terme. Considérons les trois ensembles suivants qui relèvent de la mission de l'INERIS :

■ Au cœur du système, les installations industrielles, les sites qui les abritent, mais aussi les procédés mis en œuvre, les produits générés, et les services qui s'y rattachent ;

■ Ces installations, unités de production sont situées dans un environnement, proche ou lointain, qui va évoluer sous l'influence de facteurs divers (changement climatique etc.) ;

■ Les interactions entre ces deux systèmes sont principalement déclenchées ou subies par les acteurs de la société (exploitants, riverains, élus, administration, public...).

L'évolution est rapide. « L'usine du futur » ne ressemblera plus au complexe industriel actuel. C'est aussi la société, par le jeu de ses acteurs, qui évolue le plus rapidement. Pour chacun de ces trois ensembles, des évolutions marquantes, vont impacter les risques, leur gestion et leur maîtrise.

Évolution des systèmes sociotechniques : modes de production, installations, produits, procédés et pilotage

« L'usine du futur » va générer des produits et des services à haute valeur ajoutée, organisée en vue d'une grande

flexibilité, avec des reconfigurations pour s'adapter aux demandes des marchés. Pourra-t-on continuer à encadrer la sécurité par des réglementations a priori - une nouvelle approche « par objectifs » ne s'imposera-t-elle pas ? L'intervention massive du numérique et de la « big data », dans le pilotage des procédés et installations changera-t-elle notre approche de la maîtrise de la sécurité : vulnérabilité et résilience des systèmes, interdépendance des systèmes connectés, modalités de surveillance et contrôle ?

On assiste à des progrès fulgurants sur les capacités de prévision et d'anticipation, mais saura-t-on gérer les situations dégradées (et repasser en « mode manuel ») ? Le « bio » se généralise et colonise progressivement la chimie et les procédés en attendant l'avènement de la « biologie de synthèse » : est-on prêts pour la biosécurité ?

Enfin, on assiste à une accélération des cycles de développement/mise sur le marché, avec un télescopage des TRL (Technological readiness level) dans la course à l'innovation : où et à quel moment du développement doit-on prendre en charge les questions de sécurité et d'impact sanitaire et environnemental ?

Évolution des attentes, des exigences, des marchés, du rôle des acteurs et de la gouvernance

L'exigence des citoyens et consommateurs en matière de sécurité et santé/environnement

croît rapidement, en particulier dans les « BRICS » et les pays émergents. Les citoyens sont de plus en plus concernés du fait de la délocalisation des installations de productions. On peut s'interroger sur les modalités de la décision publique dans un contexte mondialisé (cf. les conséquences de l'affaire Volkswagen). Les modes de décision et gouvernance changent : émergence de la notion d'« evidence based policies », capacité d'action collective croissante (« class actions »)... À une échelle plus locale, le transfert de responsabilités de l'État vers les territoires s'accroît : où en sera-t-on en 2025 ?

Évolution des conditions environnementales, économiques et socio-politiques

Les conséquences du changement climatique sur le tissu industriel ont-elles été bien appréhendées, et notamment l'émergence de stratégies d'adaptation ? La raréfaction des ressources, l'intensification des impacts imposent une évolution des modes de production et d'utilisation de l'énergie. La loi sur la transition énergétique incitera au développement de nouveaux secteurs : énergies renouvelables, « smart grids », économie circulaire, amenant parfois à une nouvelle typologie de risques plus « distribués ». L'occupation de l'espace sera différente : localisation des installations, grosses unités de production de masse au plus près des moyens d'acheminement - en zone littorale, dans des pays émergents à faible coût de main-d'œuvre ? Petites unités

flexibles à haute valeur ajoutée s'installeront-elle au plus proche des marchés, et quelle interaction avec les futurs espaces urbains? Enfin, évoquer l'industrie du futur ne dispense pas de gérer les installations vieillissantes: prolonger leur durée de vie, les démanteler en toute sécurité, savoir reconquérir l'espace foncier ainsi libéré.

Tout ceci se situe dans un contexte d'instabilité socio-politique croissante, marquée par la mondialisation et la diffusion planétaire des conflits et des menaces; qui ne sont pas sans conséquences quant à la conception des installations et au management de leur sécurité.

¹ Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud



A colloquium was organised for the 25th anniversary of the Institute, allowing the priorities of its next contract of objectives (2016-2020) to be outlined and initiating a longer-term prospective.

Let us consider the three following interacting groups, which arise from INERIS's mission:

■ *At the heart of the system lie the industrial plants, not only the physical sites, but also the implemented processes, the generated products, and the related services;*

■ *These installations, production units which are located in a close or far environment, which will evolve under the influence of various factors (climate change, etc.);*

■ *The interactions between these two systems are primarily triggered by or object to members of society (plant managers, the surrounding population, elected officials, administration, public, etc.).*

The evolution is rapid. The "factory of the future" will no longer resemble the current industrial complex. It is most likely society, through its play of actors, which is most rapidly evolving. For each of these groups, several significant developments will impact risks and their management.

"The factory of the future" will often be the source of high value-added products and, organised in order to allow greater flexibility, with reconfigurations to adapt to market demand. From a safety perspective, will standard regulatory approaches still suffice, or will a new approach by "objective" be imposed? Will the massive digital and "big-data" invasion, in the management of processes and plants, change our approach to monitoring safety: the vulnerability and resilience of systems, interdependency of connected systems, means of surveillance and monitoring?

We are witnessing phenomenal progress in terms of forecasting and anticipatory capacities, but will we know how to manage degraded situations (and go back to "manual mode")? Bio-sourced products are becoming mainstream and are progressively taking over chemistry and processes, awaiting the arrival of "synthetic biology": are we ready for biosafety?

Finally, there is an acceleration of development / time-to-market cycles, with a telescoping of TRL (Technological Readiness Level) in the race for innovation: where and at what moment of development must we consider questions of safety and health and environmental impact? The safety, health and environmental requirements for citizens and consumers grows rapidly, particularly in the "BRICS" and emerging nations. Citizens are increasingly concerned of off-shored industrial plants. One should ponder the means of public decision-making in a global context (consequences of the Volkswagen case for example). Decision-making processes and governance are changing: the emergence of the notion of "evidence-based policies," "class action suits," etc. At a more local level, the transfer of national to local responsibility is increasing: where will we be in 2025?

Are the consequences of climate change within the entirety of the industrial fabric truly understood, and, most importantly, are emerging strategies up to the challenge? The depletion of natural resources and the intensification of impact on the environment imposes an evolution in the means of production and energy use. The energy transition law will incite development in new sectors: renewable energy, "smart grids," circular economy, which will sometimes lead to a new, more "distributed" typology of risks. Space will be occupied differently: where will industrial plants be located? Will there be large production factories close to their final consumers - in the coastal zone and in emerging countries with low wages? Will small, flexible units with high value-added products be set up closer to the market, and, if so, how will they integrate into future urban communities?

Finally, this discussion of the industry of the future does not mean that we shall stop being responsible for aging industry: prolonging their life expectancy, dismantling them safely, but also knowing how to take advantage of the business space that has thus been opened up remains within our scope.

All this is grounded in an increasingly instable socio-political context, marked by globalisation and the worldwide diffusion of conflicts and threats, which are not inconsequential in the design of industrial plants and their safety management.



INTRODUCTION

Se positionner comme ensemble de la recherche appliquée au niveau européen

L'INERIS a été évalué en 2015 par le HCERES, Haut comité d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur. Le comité de visite s'est réuni du 27 au 29 janvier 2015, son rapport a été mis en ligne courant juin 2015, assorti de la réponse de l'INERIS.

L'analyse du comité a porté sur 3 questions principales: stratégie de l'établissement, équilibre des trois grands domaines d'activité (recherche, appui aux pouvoirs publics, expertise conseil), management et fonctions de soutien.

Les premières phrases de la conclusion traduisent la satisfaction du comité de visite à l'issue de l'audit: « Le comité d'évaluation a été impressionné, tout au long de ses contacts, par l'intérêt et la satisfaction suscités par l'Institut, que ce soit en interne ou en externe. Il apparaît clairement que l'INERIS délivre une expertise et des services (avec l'appui de ses plateformes d'essais modernisées) attendus, reconnus et le plus souvent uniques, tant pour l'État, la société civile, que pour les industriels. ».

Plusieurs points forts relevés confortent le « modèle » INERIS fondé sur la synergie entre recherche, appui aux pouvoirs publics et expertise dans les domaines des risques :

- la capacité à couvrir des champs thématiques larges et de disposer de moyens expérimentaux adaptés ;
- la mise en œuvre d'une expertise s'appuyant sur des règles robustes (déontologie, ouverture, démarche qualité) et sur une recherche de qualité;
- la capacité d'apporter des réponses adaptées aux attentes des acteurs industriels;
- l'existence d'une réseau européen solide.

Au travers de son analyse, le comité invite l'INERIS à « continuer à ouvrir sa recherche et son expertise sur l'extérieur, en s'imposant comme ensemble

ou responsable de consortium y compris au niveau international. » De même, il recommande à l'INERIS de « développer, de par la variété des thèmes qu'il traite et sa capacité à aller des problèmes concrets à la définition de projets de recherche, une approche transversale originale en matière de risques, afin de dépasser ses seuls enjeux thématiques. »

Le comité de visite suggère de « proposer une politique de partenariat ambitieuse avec d'autres établissements pour conforter son activité (Cerema, BRGM ...) et donc son rayonnement. » Enfin il préconise à l'INERIS de « continuer à affirmer son profil « expertises et recherche », ce qui suppose une solide recherche en son sein, en veillant à équilibrer le poids de son activité recherche entre ses trois directions opérationnelles,

à mieux expliciter les relations recherche / expertise / appui, à renforcer la veille sur les thématiques émergentes et à développer des programmes inter-directions ».

L'INERIS a pris en compte les recommandations du rapport lors de la préparation du Contrat d'objectifs et de performance 2016-2010, qui devrait être signé prochainement.

L'INERIS participe actuellement à 40 projets européens (cf. page 57). Concernant les projets H2020, en 2014 6 projets ont été retenus. Parmi ceux-ci, le projet NanoRegII que l'INERIS coordonne, vise à mettre en commun les activités de recherche des États membres en soutien à la réglementation européenne sur les nanoparticules. En 2015, l'INERIS a répondu à 27 projets H2020 pour lesquels 5 sont d'ores et déjà acceptés, 10 sont en cours d'évaluation et 12 ont été refusés (cf. tableau ci-dessous). Le taux de succès de l'INERIS tend donc à se stabiliser autour de 30 %. La mise en regard de ce chiffre avec le taux de succès moyen français (17,5 % pour l'ensemble de la période 2007-2013) confirme la bonne performance de l'Institut.

Concernant les appels à projets nationaux, l'INERIS a répondu à différents guichets. Un projet ANR a été retenu en 2014 sur l'usage du sous-sol dans une perspective énergétique. Pour

l'ADEME, 5 projets ont été retenus en 2015 (réduction des sources et traitement des émissions polluantes dans l'air, connaissances des impacts sanitaires et environnementaux de la gestion des déchets...). Dans le cadre du programme national de recherche en environnement-santé-travail, 4 projets ont été retenus (relatifs aux effets des radiofréquences, sur l'évaluation des risques chimiques complexes).

Toujours sur 2015, l'INERIS contribue au projet ENCETRE 2 « Énergie non conventionnelle et traitement des eaux » dans le cadre des Fonds Unique Interministériel (FUI 20). D'autres projets FUI sont également en cours de montage, en particulier sur la fabrication additive.

Pour les projets en cours d'évaluation auprès de l'ANR, l'INERIS a répondu sur les axes liés aux nouveaux matériaux en contribuant au développement des méthodes prédictives des relations structures-propriétés, aux nano-objets en proposant le développement d'instrumentation pour les caractériser, et à

l'usage du sous-sol comme capacité de stockage énergétique.

Au niveau régional, l'INERIS a été retenu avec les établissements d'enseignement supérieur en Picardie pour un projet relatif à un démonstrateur de stockage saisonnier d'énergie thermique en carrière souterraine partiellement ennoyée.

Dans le cadre du deuxième Programme Investissements d'Avenir (PIA 2), l'INERIS est associé au projet lorrain « Lorraine Université : faire dialoguer les savoirs, c'est innover », initialement proposé comme IDEX puis requalifié en ISITE et en cours d'évaluation. Deux autres projets de ISITE ont également été proposés sans toutefois être retenus (I-SITE PUMA « Picardie Unie, un Mouvement pour une Ambition » et I-SITE CUBES « Champagne université, bio économie et ingénierie des systèmes »).

En savoir plus

Le rapport du HCERES est disponible sur www.ineris.fr

Réponses aux 27 projets H2020 soumis en 2015

Succès	5	1 Marie-Curie, 1 infrastructure, 1 santé, 1 nanomatériaux-procédés, 1 énergie
En cours d'évaluation	10	Environnement, santé
Refus	12	1 environnement, 2 énergie, 3 santé, 5 nanomatériaux-procédés, 1 jumelage





ACCOMPAGNER LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE et l'économie circulaire





Fuites d'hydrogène sous pression enflammées et non enflammées: concentration, mesure de turbulence et effets de surpression	12
Procédés de méthanisation et gestion des risques industriels. Retour d'expérience en France et en Allemagne	14
Étude expérimentale du comportement au feu d'électrolytes de batteries Li-ion	16
Enseignements du suivi de l'injection de 120 kg de CO ₂ dans une veine de charbon à l'aide d'un monitoring microsismique et d'un monitoring des gaz en continu	18
Les bénéfices sanitaires d'une meilleure qualité de l'air induits par une politique climatique ambitieuse compensent les coûts de réduction des émissions en Europe	20
Vers un premier état des lieux des problématiques de corrosion dans les bioraffineries avancées: premiers résultats du projet ECORBIO	22



FUITES D'HYDROGÈNE SOUS PRESSION ENFLAMMÉES ET NON ENFLAMMÉES : concentration, mesure de turbulence et effets de surpression

Les études de sécurité relatives aux sites de production d'hydrogène ou au système pile à combustible montrent que dans la plupart des cas l'explosion et plus particulièrement l'explosion à la suite de l'inflammation retardée d'une fuite gazeuse sous pression donne les distances d'effet maximales. L'évaluation des conséquences de ce type d'explosion nécessite des modèles précis et validés. De nombreux travaux [1; 2; 3; 4] se sont intéressés à l'explosion d'un jet gazeux turbulent à la suite d'une inflammation retardée. Ils se focalisent principalement sur les mesures de concentration et la dépendance des effets de pression à la position du point d'inflammation. Cependant, aucun d'entre eux n'apporte de données expérimentales précises quant à la mesure de turbulence dans le nuage inflammable. En effet, l'intensité de turbulence et la

taille des structures tourbillonnaires déterminent la vitesse de flamme et par conséquent les surpressions d'explosion. Pour combler ce manque, l'INERIS et deux industriels se sont associés dans le cadre d'un projet de recherche partenariale pour étudier expérimentalement les fuites d'hydrogène sous pression non enflammées et enflammées.

Méthode

Le dispositif expérimental à moyenne échelle se compose d'une cuve de stockage de 5 m³ sous une pression initiale de 40 bars reliée par un flexible de 35 mm de diamètre à un orifice circulaire de 12 mm. L'orifice de rejet est situé à 1,5 m du sol et le temps de rejet est de l'ordre de 20 secondes (Figure 1). Afin de caractériser correctement l'ensemble des paramètres physiques, la campagne expérimentale se décompose en

2 phases: étude de la dispersion de l'hydrogène et inflammation retardée de ce rejet.

La mesure des concentrations d'hydrogène au sein de l'enveloppe inflammable a été réalisée au moyen d'analyseurs paramagnétique d'oxygène. Les champs de vitesse et de turbulence de l'écoulement gazeux ont été mesurés au moyen de sondes de Pitot bidirectionnelles couplées à un capteur de pression différentielle. Les deux types de capteurs sont installés sur un mât instrumenté. Ce mât est déplacé dans le rejet pour permettre la mesure des différents paramètres.

Les mesures de surpression d'explosion sont réalisées au moyen de capteurs de pression piézo-resistifs 0-2 bar. Ces capteurs sont enchâssés dans les supports lenticulaires permettant d'éviter le phénomène de réflexion d'onde de pression sur le capteur. Trois capteurs

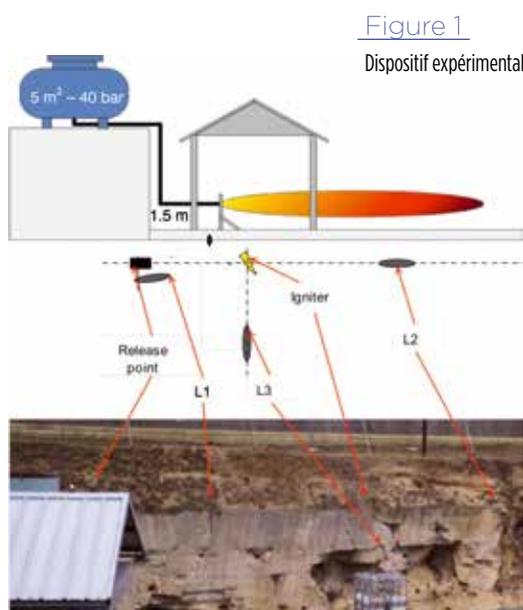


Figure 1
Dispositif expérimental

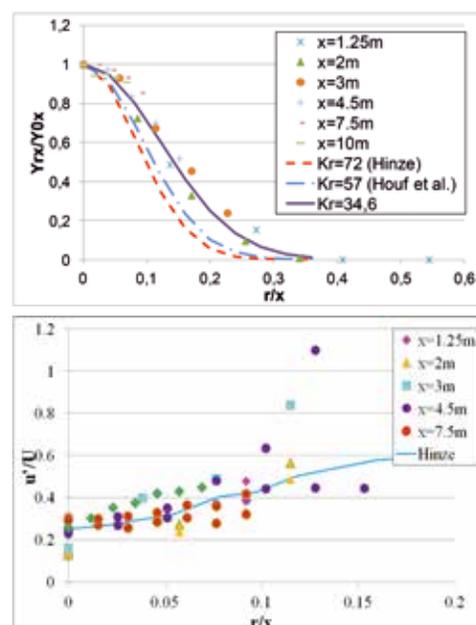


Figure 2
Fraction massique perpendiculairement à l'axe du rejet et intensité turbulente



sont utilisés et disposés dans l'axe du rejet et perpendiculairement à ce dernier (Figure 1). Un système de vidéo rapide placé à 10 m de la source d'inflammation perpendiculairement à l'axe du rejet a été utilisé pour enregistrer la dynamique du développement de la flamme.

Un traitement d'image spécifique a été nécessaire pour révéler le contour de la flamme. La source d'inflammation est un tube métallique de 5,5 cm de diamètre et de 50 cm de hauteur rempli d'un mélange hydrogène-oxygène stœchiométrique enflammé au moyen d'une perle pyrotechnique. Une flamme d'une quarantaine de centimètres est éjectée du tube et enflamme le jet gazeux d'hydrogène. Pour une inflammation à 30 % d'hydrogène dans le jet, l'inflammeur est placé à 1,8 m de point de rejet.

Résultats

Des modèles analytiques [5] ont été comparés aux profils axiaux et radiaux de concentration mesurés (Figure 2) et donnent des résultats satisfaisants. Les mesures de turbulence (Figure 2) sont cohérentes

avec les données théoriques [6]. L'intensité de turbulence est de l'ordre de 30 % sur l'axe du rejet et augmente exponentiellement à mesure qu'on s'en éloigne. La taille des structures tourbillonnaires est quant à elle directement proportionnelle à la distance depuis le point de rejet. La surpression maximale d'explosion mesurée à 2 m en aval de l'inflammeur est de l'ordre de 80 mbar avec une montée en pression de l'ordre de 3 ms. La vitesse de flamme maximale déduite du traitement vidéo (Figure 3) montre que la vitesse maximale de flamme est de l'ordre de 280 m/s.



Safety studies for production and use of hydrogen reveal the importance of accurate prediction of the overpressure effects generated by delayed explosions of accidental high pressure hydrogen releases. Analysis of previous experimental work demonstrates the lack of measurements of turbulent intensities and lengthscales in the flammable envelope as well as the scarceness of accurate experimental data for explosion overpressures and flame speeds. Industry and INERIS join in a collaborative project to study un-ignited and ignited high pressure releases of hydrogen.

The purpose of this work is to map hydrogen flammable envelopes in terms of concentration, velocity and turbulence, and to characterize the flame behaviour and the associated overpressure.

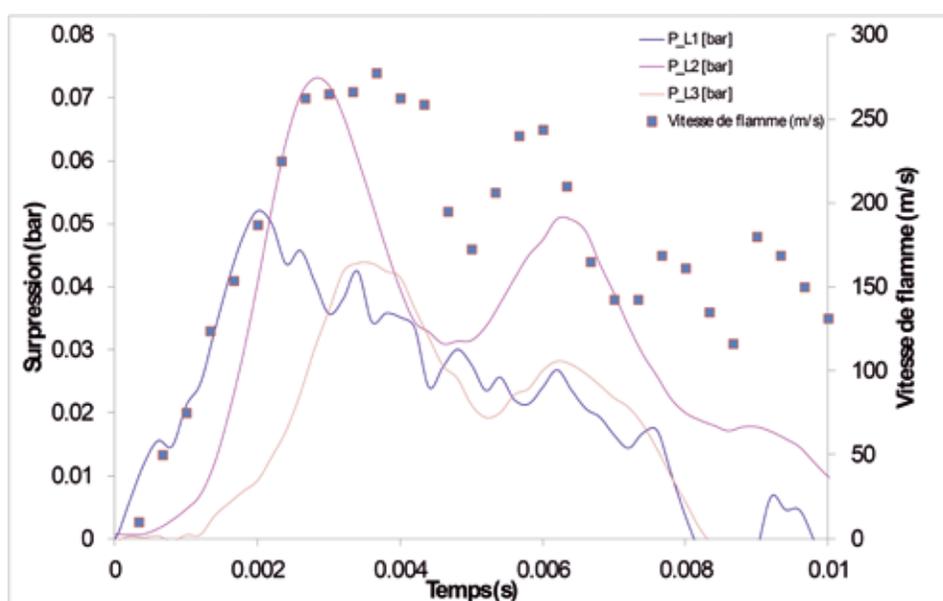
Références

- [1] Chaineaux, J. (1995). Merge Project: INERIS report
- [2] Takeno, K. Okabayashi, K. Kouchi, A. Nonaka, T. Hashiguchi, K. & Chitose, K. (2007). *Dispersion and explosion field tests for 40 MPa pressurized hydrogen*. International Journal of Hydrogen Energy, Volume 32, Issue 13, Pages 2144-2153
- [3] Royle, M. Willoughby, D.B. (2011). *Consequences of catastrophic releases of ignited and unignited hydrogen jet releases*. International Journal of Hydrogen Energy, 2688-269

- [4] Grune, J. Sempert, K. Kuznetsov, M. Breitung, W. (2011). *Experimental study of ignited unsteady hydrogen jets into air*. International Journal of Hydrogen Energy, 36, 2497 - 2504
- [5] Schefer, R., Houf, W. & Williams, T. (2008). *Investigation of small-scale unin-tended releases of hydrogen: momentum-dominated regime*. International Journal. of Hydrogen Energy, 33, 6373-6384
- [6] Hinze. (1975). *Turbulence: 2nd Edition*, McGraw_Hill

Figure 3

Surpression mesurée et vitesse de propagation de flamme





PROCÉDÉS DE MÉTHANISATION ET GESTION DES RISQUES INDUSTRIELS

Retour d'expérience en France et en Allemagne

Dans le cadre des travaux d'appuis menés pour le compte du ministère chargé de l'Écologie [1], l'INERIS a réalisé en 2012 une étude sur le retour d'expérience (REX) relatif à la filière méthanisation en France (200 installations en 2011) et en Allemagne (7200 installations en 2011).

Le REX étudié a permis de recenser les scénarios accidentels de référence à prendre en compte :

- renforcer la sécurité de la filière de méthanisation française en développement afin d'assurer sa pérennité ;
- mutualiser les bonnes pratiques en termes de gestion des risques recensés chez les acteurs de la filière méthanisation (constructeurs, porteurs de projets, associations professionnelles, exploitants, experts, assureurs...).

L'INERIS a mené un travail de collecte de données en France¹ et en Allemagne². La synthèse de ce REX s'est ainsi appuyée sur une collecte de plusieurs dizaines d'incidents et d'accidents survenus en France et de quelques centaines dans le cas de l'Allemagne (filiale plus mature).

D'une manière générale, les procédés de méthanisation de la biomasse et des déchets génèrent des risques accidentels, sanitaires et environnementaux, tant en phase d'exploitation que lors des opérations de maintenance. Les principaux phénomènes dangereux à considérer sont classés par ordre de priorité de dangerosité :

I) les fuites accidentelles de biogaz brut contenant de l'H₂S avec possibilité de générer un sur-événement de type incendie/explosion :

- fuites de brides, de raccords, de gardes hydrauliques, de soupapes, défauts d'allumage de torchères...
- fuites de circuits de dérivation (purges de condensats, événements...).

II) les incendies sont amorcés dans une part non négligeable des cas par des travaux par points chauds (exemple soudure) ;

III) les explosions liées à la formation d'atmosphères explosibles (ATEX) air/biogaz.

¹ Base ARIA du BARPI, échange sur REX recensé chez deux industriels de la filière

² Ministère fédéral de l'environnement, Assurance sociale agricole

Résultats

En 2009, la commission pour la sécurité des installations du ministère fédéral allemand de l'Environnement, de la Protection de la nature et de la Sécurité nucléaire constate dans son avis technique « Sécurité dans les installations de biogaz [2] » que les installations de méthanisation ont souvent des défaillances liées à leur conception, leur construction ou sont causées par le mode d'exploitation. 80 % des installations contrôlées présentent des anomalies importantes en termes de choix d'équipements (joints défectueux, tarage de soupape, etc.), de choix de mesures de prévention et de protection contre l'explosion et de formation du personnel.

 *One of INERIS' important commitment deals with the assistance provided to the biogas sector in their efforts to identify, assess and put potential accidental risks under control and to mitigate environmental impacts associated with these facilities.*

In recent past INERIS conducted a study, on behalf of the French Ministry the Environment, to identify biogas incidents typology from incidents/accidents records at disposal in France and Germany.

A large number of incidents and several accidents in the agricultural sector with biogas plants were found in Germany, but most often the root reason and the sequences of the events characterising the scenarii were mostly missing in publicly available information.

The main hazards to consider are respectively fires, explosions and unexpected toxic gas release (e.g. H₂S). In order to prevent accidental risks, a systematic risk assessment carried out under the leadership of the operator, accompanied by a competent body is highly desirable, to go towards inherently safer biogas units and ensure appropriate protection against fires, explosions and against the toxic threat.



L'association « Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe » (agence pour les ressources renouvelables) a indiqué dans un rapport, daté de 2010 [3] que la fiabilité actuelle des installations concernées conduisait à une probabilité d'occurrence de 1,2 incident par 10kWel installés et par an. Cette valeur inclut tous les incidents techniques recensés dans une étude réalisée sur 31 installations entre 2004 et 2005 [4].

L'évaluation du REX montre également que les unités fonctionnelles telles que les centrales de cogénération, les systèmes d'injection des solides, les pompes, les tuyaux, les vannes et les agitateurs sont particulièrement vulnérables. Des défaillances surviennent sur ces modules

impactent la sécurité globale du système (casse de matériel, perte de confinement, fuites...). Pour prendre en compte ces premières conclusions il existe des leviers réglementaires d'action de maîtrise des risques en France (Code de l'environnement avec la réglementation ICPE et Code du travail avec la réglementation ATEX), qui exigent :

- d'axer la démarche de maîtrise des risques sur une sécurisation du procédé en amont, dès la conception des installations, accompagnée de la mise en place de barrières techniques et humaines de sécurité;
- de contrôler régulièrement la fiabilité de ces barrières

de sécurité pour garantir leur bon fonctionnement sur le long terme (entretien et maintenance);

- de prendre conscience de situations à risque pour la sécurité du personnel lors des phases d'intervention dans des digesteurs, dans des locaux contenant des canalisations de biogaz (travaux par points

chauds, maintenance...), et les phases transitoires (démarrage d'installation, mise à l'arrêt);

- de mettre en place des sessions de formation aux risques liés à la mise en œuvre du biogaz à destination des exploitants afin que les mesures de sécurité soient comprises et appliquées.

📖 Références

[1] *Retour d'expérience relatif aux procédés de méthanisation et à leurs exploitations* réalisé en 2012 pour le MEDDE (Etude INERIS DRA-12-117442-01013A)

[2] *Kommission für Anlagensicherheit, Merkblatt Sicherheit in Biogasanlagen*, KAS-12, 06/2009;

[3] *Biogas basisdaten Deutschland* 2010,

[4] *Erfassung und Analyse von Defiziten an landwirtschaftlichen Biogasanlagen* FKZ: 22012804;





ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DU COMPORTEMENT AU FEU d'électrolytes de batteries Li-ion

Parmi les systèmes de stockage électrochimiques existants, la technologie lithium-ion (Li-ion) s'impose comme l'une des principales solutions de stockage pour la décennie à venir en raison de sa densité d'énergie bien supérieure aux autres technologies de batteries rechargeables (Ni-Cd, Ni-MH, acide-plomb). La technologie Li-ion est en pleine croissance et couvre une large gamme de domaines d'applications, des équipements portables aux applications appelant plus de puissance ou d'énergie telles que l'électro-mobilité et les réseaux intelligents.

La sécurité représente l'un des principaux enjeux pour le développement de cette technologie pour les applications à grande échelle [1]. L'électrolyte usuel des batteries Li-ion est constitué de solvants inflammables (carbonates organiques cycliques et

linéaires) et d'un sel de lithium. Il joue un rôle très important vis-à-vis des performances électrochimiques, mais sa formulation chimique contribue également fortement au comportement de la batterie face à une défaillance. Pour mieux comprendre, et formuler les électrolytes du futur, en conciliant objectif de performances et conception intrinsèquement plus sûre, il est essentiel de comprendre la contribution de l'électrolyte lors de la défaillance d'une batterie Li-ion en termes de contribution à l'emballage thermique et en termes d'effets indésirables (incendie, explosion...).

Après avoir évalué le comportement au feu des solvants pris individuellement et en mélange [2], l'influence de la nature du sel de l'électrolyte sur les phénomènes de combustion et d'émission de gaz toxiques [3] a été étudiée.

Plusieurs formulations d'électrolytes contenant le sel classique LiPF₆ et un électrolyte contenant un sel en développement, le LiFSI, ont été testés (Tableau 1). Ces études ont été réalisées dans le cadre du projet de recherche régional DEGAS [4].

Moyen d'essai utilisé

Les essais de combustion ont été réalisés à l'aide du calorimètre de Tewarson de l'INERIS (Figure 1) décrit sous le nom de Fire Propagation Apparatus dans les normes ASTM E2058-00, NFPA 287 et ISO 12136. L'échantillon placé au centre du calorimètre est chauffé à l'aide de quatre panneaux radiants émettant un flux radiatif fixé à 25 kW/m² et dans des conditions bien ventilées dans le cadre de notre étude. Les gaz issus de la dégradation thermique (CO, CO₂, Hydrocarbures totaux

[HCt], NO, NO₂, SO₂, CH₄, C₂H₄, formaldéhyde, HF, HCN, etc.) sont collectés dans le conduit de cheminée et analysés en continu. Cet appareil permet ainsi une étude paramétrique du comportement des matériaux en condition d'incendie tant sur le plan des paramètres thermiques (vitesse de combustion, débit calorifique associé) que sous l'aspect chimique (composition des fumées, qualification et quantification des produits de décomposition thermique).

Principaux résultats

La puissance dégagée lors de la combustion des électrolytes et de leur mélange de solvants montre un profil identique pour les électrolytes à base de LiPF₆, excepté un temps de combustion plus élevé en présence du sel (courbe LP100 sur la Figure 2). Comme pour la combustion

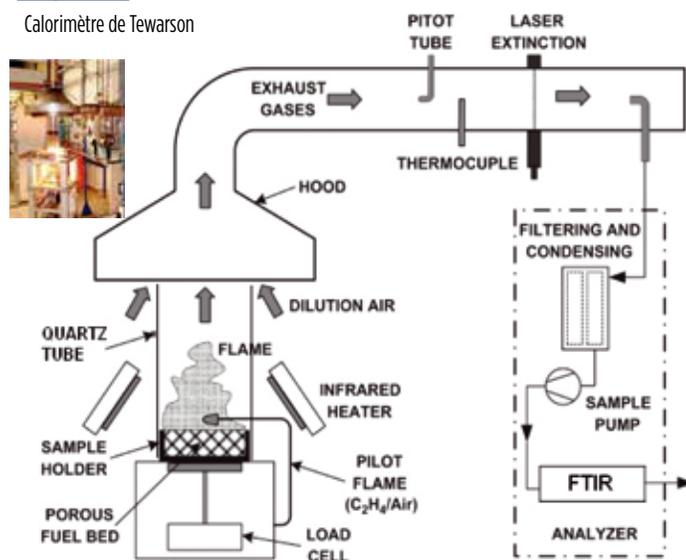
Tableau 1

Désignation et composition des électrolytes à base de LiPF₆ et de LiFSI testés

Électrolyte	Description	Formule du sel
LP30	1M LiPF ₆ EC/DMC (1/1, en masse)	
LP40	1M LiPF ₆ EC/DEC (1/1, en masse)	
LP47	1M LiPF ₆ EC/DEC (3/7, en masse)	
LP50	1M LiPF ₆ EC/EMC (1/1, en masse)	
LP57	1M LiPF ₆ EC/EMC (3/7, en masse)	
LP71	1M LiPF ₆ EC/DEC/DMC (1/1/1, en masse)	
LP81	1M LiPF ₆ EC/DMC/EA (1/1/1, en masse)	
LP100	1M LiPF ₆ EC/PC/DMC (1/1/3, en masse)	
LF100	1M LiFSI EC/PC/DMC (1/1/3, en masse)	

Figure 1

Calorimètre de Tewarson



des mélanges de solvants, deux phases de combustion sont observées dans le cas des électrolytes à base de LiPF₆ (ex. LP100) : la combustion des carbonates linéaires plus volatils (ex. DMC) puis celle des carbonates cycliques (EC, PC). Dans le cas de l'électrolyte à base de LiFSI (LF100), le temps de combustion est plus court que pour le mélange de solvant et la puissance de la deuxième phase de combustion est plus élevée. Dans le cas du LF100, la décomposition plus tardive mais plus marquée du LiPF₆ par rapport au cas du sel LiPF₆ du LP100 explique le regain de puissance observé dans la deuxième phase. Les résultats ont également montré que la toxicité des fumées était principalement gouvernée par la nature du sel. Les principaux gaz toxiques associés aux sels sont HF pour LiPF₆, SO₂, HF (en quantité 3 fois plus faible), NO et HCN pour LiFSI (Figure 3).

Des essais comparatifs sur des cellules Li-ion avec un électrolyte à base de LiPF₆ et de LiFSI ont également été réalisés dans le cadre du projet DEGAS et font l'objet d'une publication qui sera soumise d'ici fin 2015.

Références

[1] J.-M. Tarascon and M. Armand. *Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries*. Nature, 2001. 414(6861): p. 359-367.

[2] G. G. Eshetu, S. Grugeon, S. Laruelle, S. Boyanov, A. Lecocq, J.-P. Bertrand, G. Marlair, *In-depth safety-focused analysis of solvents used in electrolytes for large scale lithium ion batteries*. Phys Chem Chem Phys, 2013. 15(23): 9145-9155.

[3] G. G. Eshetu, JP Bertand, A. Lecocq, S. Grugeon, S. Laruelle, M. Armand & G. Marlair, *Fire behaviour of carbonated-based electrolytes used in Li-ion rechargeable batteries with a focus on the role of the LiPF₆ and LiFSI*, Journal of Power Sources 269 (2014) 804-811.

[4] Projet de recherche régional DEGAS « Développement des tests de sécurité lié à l'émission de gaz toxiques dans les batteries Li-ion », auquel ont participé le Laboratoire de réactivité et chimie des solides (LRCS) de l'Université de Picardie Jules Verne (UPJV) et l'INERIS.



Li-ion battery electrolytes composed of flammable organic carbonates and a lithium salt play an important role regarding electrochemical performances but also its chemical formulation contributes to battery behavior in case of failure. In order to better understand and formulate future electrolytes, integrating intrinsic safety aspect beyond performances, it is first necessary to understand the phenomena related to the electrolyte during a Li-ion battery failure. After assessing the fire behavior of individual organic carbonates solvents and their mixtures, the influence of the nature of the electrolyte salt on combustion phenomena and toxic gas release was studied in the framework of the DEGAS regional project. Fire tests were performed thanks to the Tewarson calorimeter on electrolytes containing a classical salt LiPF₆ and on an electrolyte containing a salt under development, LiFSI. It was shown that the first stage of combustion is governed by the more volatile solvent (linear carbonate) and the influence of adding salt was observed in the second stage. The fire induced toxicity in well ventilated conditions is mainly governed by the nature of the salt, showing very limited concerns that emanate from the organic solvents.

Figure 2

Évolution de la puissance (HRR) lors de la combustion des électrolytes à base de LiPF₆ (LP100) et LiFSI (LF100) et du mélange de solvants correspondant (EC/PC/DMC).

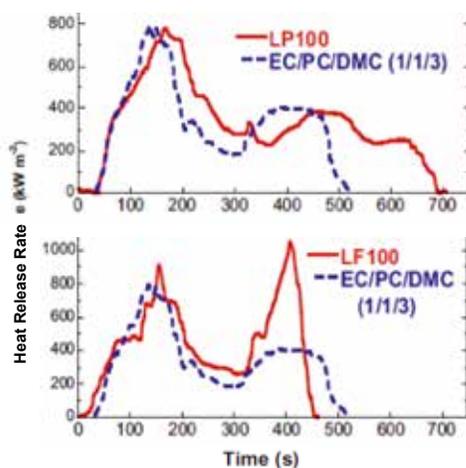
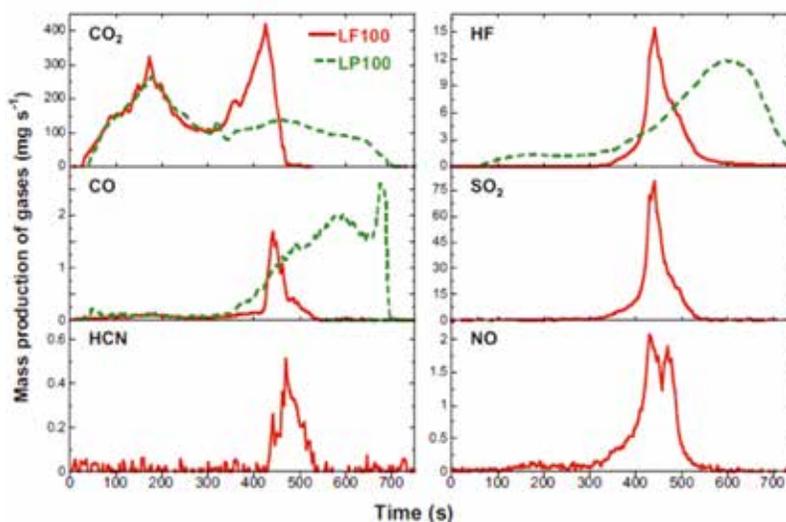


Figure 3

Évolution des gaz émis lors de la combustion des électrolytes à base de LiPF₆ (LP100) et LiFSI (LF100)





ENSEIGNEMENTS DU SUIVI DE L'INJECTION DE 120 KG DE CO₂ DANS UNE VEINE DE CHARBON à l'aide d'un monitoring microsismique et d'un monitoring des gaz en continu

L'injection de dioxyde de carbone (CO₂) dans une veine de charbon permet d'améliorer la récupération du méthane (CH₄) qui y est piégé naturellement. Il s'agit d'une technique dite de récupération assistée qui peut notamment être associée à la technique du captage et du stockage du CO₂ pour réduire les émissions atmosphériques, lorsque le CO₂ injecté provient des émissions anthropiques.

Plusieurs pilotes industriels de récupération assistée du CH₄ par injection de CO₂ ont été réalisés dans le monde, mais dans des contextes assez différents des bassins houillers européens. Un seul essai pilote a été réalisé en Europe lors du projet RECOPOL. Cet essai n'a cependant pas permis de démontrer la faisabilité de coupler la récupération du CH₄ avec le stockage du CO₂ dans le contexte européen.

Le projet de recherche CARBOLAB

Le projet de recherche CARBOLAB avait pour objectif d'améliorer la compréhension des processus d'adsorption qui se manifestent lors de l'injection de CO₂ dans une veine de charbon. Ce projet a été financé par la commission européenne à travers le Fonds de recherche du charbon et de l'acier (RFCS) de 2009 à 2013. Il réunissait des partenaires espagnols (HUNOSA, AITEMIN), français (BRGM, INERIS) et polonais (GIG), et était organisé en trois actions principales: tests de laboratoire, modélisation numérique et test *in situ* avec injection de CO₂ dans une veine de charbon. Les résultats du projet peuvent notamment être consultés dans deux publications [1, 2].

Dimensionnement de l'essai d'injection

Le test *in situ* d'injection de CO₂ a été réalisé dans une veine non exploitée d'une mine souterraine de charbon située dans les Asturies (nord de l'Espagne). La veine a une épaisseur d'environ 4 m et est très inclinée (sub-verticale) en raison du contexte tectonique local. 120 kg de CO₂ pur ont été injectés dans la veine entre le 3 juillet et le 10 septembre 2013, via un forage réalisé depuis l'une des galeries de la mine située à environ 800 m de profondeur. L'injection a été dimensionnée pour se positionner à une échelle intermédiaire entre les travaux réalisés en laboratoire (quelques dizaines de grammes de CO₂) et ceux qui peuvent être menés sur des pilotes industriels (plusieurs milliers de tonnes de CO₂).

Un réseau de monitoring dense

En plus du puits d'injection, 21 puits de monitoring de 30 à 50 m de long ont été forés à partir de la galerie, à la fois dans la veine de charbon et dans les roches encaissantes, pour suivre la migration du CO₂ et la production de CH₄. L'un des objectifs était de démontrer la faisabilité technique d'un monitoring complet, couplant géophysique et géochimie, avec les méthodes proposées.

En ce qui concerne la géophysique, l'INERIS a réalisé un suivi microsismique dans 3 puits (Figure 1) au sein de la roche encaissante, proche de la veine. Les puits ont été équipés d'hydrophones pour réaliser un monitoring des événements microsismiques, en vue de détecter et de localiser les ruptures mécaniques générées

Figure 1

Schéma du site expérimental avec la veine de charbon (en noir), la galerie (en orange) et les puits (puits d'injection en rouge, de monitoring microsismique en vert et de monitoring des gaz en violet).

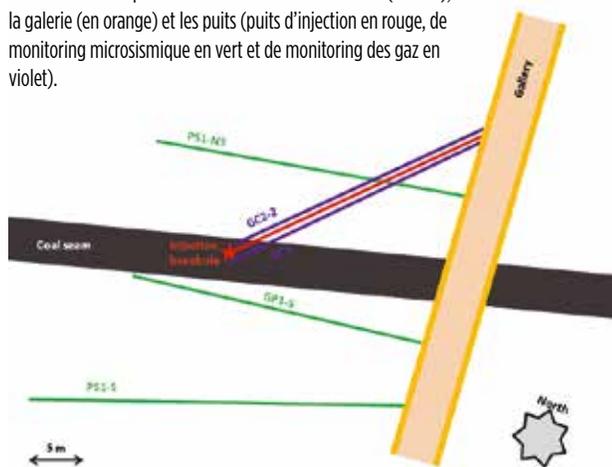
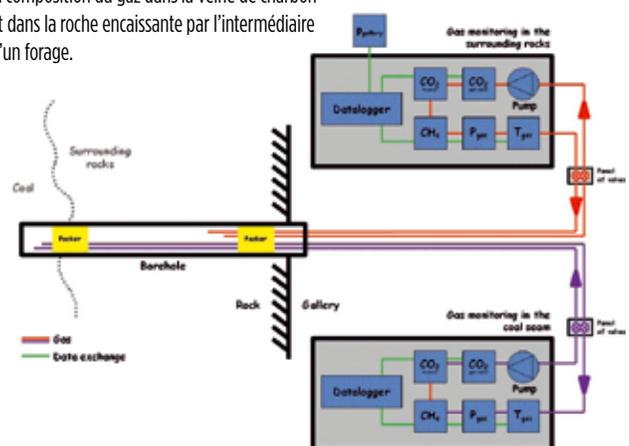


Figure 2

Schéma du système de monitoring en continu de la composition du gaz dans la veine de charbon et dans la roche encaissante par l'intermédiaire d'un forage.



par l'injection. En ce qui concerne la géochimie, il s'agissait de réaliser un suivi en continu de la composition du gaz dans le massif, à partir de 2 puits qui aboutissaient à environ 6 m du point d'injection dans la veine de charbon. Ces deux puits ont été équipés de dispositifs spécifiques permettant d'échantillonner et d'analyser les gaz aussi bien dans la veine de charbon que dans la roche encaissante (Figure 2).



In the framework of the CARBOLAB research project funded by the European Research Fund for Coal and Steel, INERIS has monitored a CO₂ injection test performed in a coal seam of a Spanish deep mine. The aim was to study both the enhancement of the coal bed methane recovery and the CO₂ storage by adsorption onto coal. Passive seismic monitoring and gas monitoring have been performed. Monitoring revealed that leakage occurred during the injection test and that's why gas migration was not monitored in coal but only in the surrounding rocks. Nevertheless, passive seismic monitoring and continuous gas monitoring proved to be valuable tools to observe gas migration and the rock behaviour during the injection. They also helped us to understand the discrepancies between observations and predictions. The results we obtained will help us to draw recommendations and to design future in-situ injection operations in coal, as well as CO₂-enhanced coal bed methane recovery operations.

Détection d'une fuite dans la roche encaissante

Dès le début de l'injection, le réseau de monitoring mis en place a détecté une fuite du gaz injecté hors de la veine de charbon, vraisemblablement via les fractures existantes dans le massif activées (ouvertes) par la pression du gaz injecté. Cela a été confirmé par le nombre d'événements microsismiques enregistrés qui s'est avéré corrélé à la pression d'injection (Figure 3) et par un enrichissement de l'atmosphère en CO₂ observé dans les roches encaissantes. Pour suivre le cheminement des fuites, des mesures des flux de gaz ont été réalisées

aux parois et au sol de la galerie selon la méthode développée et brevetée par l'INERIS (Figure 4). Grâce à ces mesures, il a été statué que jusqu'à 65 % du gaz injecté fuyait de la veine de charbon pour se retrouver dans la galerie et être évacué par la ventilation de la mine.

Un bilan en demi-teinte

La part de gaz injecté fuyant hors de la veine de charbon ayant été jugée trop importante, les partenaires ont décidé d'arrêter précocement l'injection, ce qui a eu pour conséquence de limiter les acquis du projet par

rapport aux objectifs initiaux. Néanmoins, les résultats obtenus en laboratoire ont permis d'améliorer la compréhension des processus d'adsorption sur le charbon en présence de mélanges de gaz. De même le monitoring mis en place lors de l'injection, couplant géophysique et géochimie dans les conditions réelles d'une mine profonde, s'est révélé être un outil pertinent et précieux pour comprendre la migration du gaz dans le massif.

BENTIVEGNA G., DIDIER C., FARRET R., GOMBERT P., POKRYSZKA Z., CANTO TOIMIL N. (2014). *Monitoring a 120-kg CO₂ injection in a coal seam with continuous gas and microseismic measurements* (European RFCS CARBOLAB research project). *Energy Procedia* 63, pages 4464-4472.

[2] LAFORTUNE S., ADELISE F., BENTIVEGNA G., DIDIER C., FARRET R., GOMBERT P., LAGNY C., POKRYSZKA Z., CANTO TOIMIL N. (2014) *An experimental approach to adsorption of CO₂ + CH₄ gas mixtures onto coal* (European RFCS CARBOLAB research project). *Energy Procedia* 63, pages 5870-5878.

Références

[1] LAFORTUNE S., ADELISE F., LAHAIE F., BEAUFILS B.,

Figure 3

Comparaison du nombre d'événements microsismiques (activité microsismique, en bleu) enregistrés par jour avec la valeur moyenne de la pression d'injection (courbe rouge).

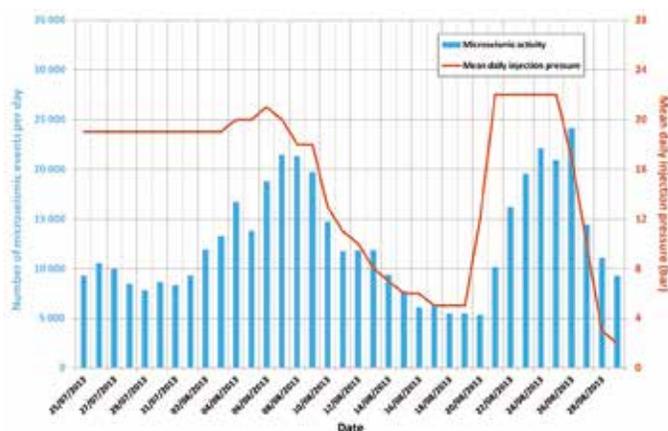


Figure 4

Mesure des flux de gaz (CO₂ et CH₄) sur la paroi de la galerie selon la méthode développée et le dispositif CARE breveté par l'INERIS.





LES BÉNÉFICES SANITAIRES D'UNE MEILLEURE QUALITÉ DE L'AIR INDUITS PAR UNE POLITIQUE CLIMATIQUE AMBITIEUSE compensent les coûts de réduction des émissions en Europe

La pollution de l'air a des impacts significatifs sur la santé humaine (effets cancérigènes, problèmes cardio-vasculaires et respiratoires) qui ont des conséquences économiques importantes: coûts de la maladie pour le système de soins et les entreprises, consentement à payer pour éviter de la souffrance, et la mortalité prématurée.

La qualité de l'air et le changement climatique sont liés dans leur fonctionnement et leurs impacts. Les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre ont souvent des sources communes, notamment celles liées à la combustion d'énergies fossiles. Les politiques climatiques, impliquant des mesures d'efficacité énergétique et d'autres mesures technologiques, influent donc également sur les émissions de polluants atmosphériques et donc sur la qualité de l'air et les effets sanitaires associés. Par ailleurs ces mesures d'efficacité énergétique peuvent conduire indirectement à réduire le coût des politiques dédiées à la qualité de l'air. De plus, la

chimie atmosphérique est sensible au changement climatique. Celui-ci, en modifiant les caractéristiques physiques de l'atmosphère, modifie la fréquence des phénomènes météorologiques susceptibles de conduire à des épisodes de pollution.

C'est devant ce contexte que l'INERIS a étudié [1; 2]:

- L'efficacité de politiques européennes planifiées pour réduire les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique en Europe dans deux contextes de politiques climatiques;
- Leurs bénéfices, en termes de a) moindres dépenses, de réduction des émissions atmosphériques, b) dommages sanitaires de la pollution évités;
- Le bilan entre ces bénéfices et les coûts de l'atténuation du changement climatique.

Méthodes

La qualité de l'air en Europe et les effets sanitaires associés ont été analysés pour deux jeux de politiques visant la pollution de l'air, l'énergie et le changement

climatique à l'horizon 2050. Les deux scénarios prospectifs sélectionnés¹ sont identiques en termes de politique de gestion de la qualité de l'air (ils supposent la mise en œuvre de toutes les réglementations contre la pollution de l'air actuellement planifiées pour 2030). Par contre ils diffèrent en termes de politique climatique:

- Scénario de référence (REF): aucune politique climatique n'est mise en œuvre,
- Scénario d'atténuation (MIT): mise en œuvre d'une politique ambitieuse limitant le réchauffement de la planète à 2 °C d'ici 2100.

Un nouveau système de modélisation exhaustif de la qualité de l'air et du climat régional dans un cadre d'analyse coûts-bénéfices a été développé. La chaîne de modélisation repose sur des modèles existants de climat et de chimie-transport, l'innovation réside dans leur intégration dans des scénarios à long terme et l'ajout d'un module d'évaluation des impacts sanitaires liés aux particules fines et à l'ozone dans une approche coûts-bénéfices.

À l'échelle de l'Europe la chaîne de modèles (Figure 1) a été utilisée pour:

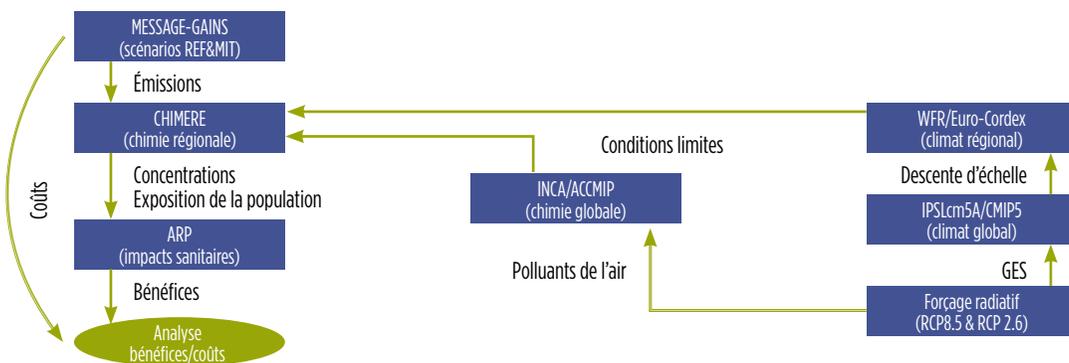
- analyser les scénarios GEA¹ et quantifier les coûts économiques associés (modèles d'énergie et d'analyse intégré MESSAGE et GAINS),
- raffiner spatialement les projections de modèles climatiques globaux (modèles IPSL-CM5A-MR et WRF) et de modèles globaux de chimie-climat (modèle LMDZ-OR-INCA) afin d'atteindre des échelles spatiales pertinentes pour les études d'impact (10 à 50 km),
- analyser la qualité de l'air en Europe (modèle de chimie-transport CHIMERE),
- étudier l'impact sanitaire (modèle ARP-FR) afin de quantifier les bénéfices des politiques de gestion et de les comparer aux coûts de l'atténuation.

Résultats

Les mesures de gestion de la qualité de l'air planifiées à ce jour en Europe (REF) conduisent à des réductions significatives d'émission de polluants. La

Figure 1

Chaîne de modélisation intégrée du climat et de la qualité de l'air à l'échelle continentale, et quantifications des coûts et des bénéfices associés



politique ambitieuse contre le changement climatique (MIT) apporte un co-bénéfice additionnel important en termes de moindres émissions atmosphériques. L'amélioration de la qualité de l'air en Europe est donc plus forte sous MIT que sous REF.

En termes économiques, les mesures d'atténuation du changement climatique conduisent à des dépenses pour faire évoluer le système énergétique de 107,5 milliards d'€ par an en 2050 (Figure 2), mais les coûts de la lutte contre les émissions de polluants atmosphériques sont indirectement réduits de 42 milliards d'€, grâce au co-bénéfice des politiques climatiques. Le coût net de l'atténuation de la pollution de l'air et du changement climatique s'élève donc à 65,5 milliards d'€ en 2050.

Les impacts sanitaires baissent entre 2005 et 2050 et les coûts associés devraient décroître de 60 % dans cette période sous REF. Une réduction additionnelle des coûts sanitaires de 50 % serait atteinte grâce au scénario MIT. Cette forte réduction des impacts sanitaires conduirait à une réduction des coûts sanitaires de 62 milliards d'€ en 2050.

Le coût additionnel net total de l'amélioration de la qualité de l'air et de l'atténuation du changement climatique se limite à 3,5 milliards d'€ en 2050 en Europe, compte tenu des bénéfices liés aux dommages sanitaires évités.

Les co-bénéfices de la politique d'atténuation du changement climatique en termes d'économies pour l'atténuation de la pollution de l'air et en termes d'effets sanitaires évités compensent donc quasiment les coûts d'une telle politique. Ces bénéfices sont de plus sous-estimés. En effet, l'analyse ne chiffre pas les bénéfices liés à la meilleure qualité de l'air pour les cultures, les écosystèmes et le bâti, ni d'autres effets positifs liés à l'atténuation du changement climatique².

¹ Issus du Global Energy Assessment de l'IIASA <http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/Home-GEA.en.html>.

² E.g. sur l'élévation du niveau de la mer, la mortalité/morbidité liés à la chaleur, les événements météorologiques extrêmes...

Références

- [1] Schucht, S.; Colette, A. Rao, S.; Holland, M.; Schöpp, W.; Kolp, P.; Klimont, Z.; Bessagnet, B.; Szopa, S.; Vautard, R.; Brignon, J.-M. & Rouil, L. (2015): *Moving towards ambitious climate policies: monetized health benefits from improved air quality could offset mitigation costs in Europe*, Environmental Science and Policy, 50 (2015), 252-269, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2015.03.001>.
- [2] Colette, A.; Bessagnet, B.; Vautard, R.; Szopa, S.; Rao, S.; Schucht, S.; Klimont, Z.; Menut, L.; Clain, G.; Meleux, F. & Rouil, L. (2013): *'European atmosphere in 2050, a regional air quality and climate perspective under CMIP5 scenarios'*, Atmospheric Chemistry and Physics, 2013, 13 (15): p. 7451-7471.



Air quality and related health effects are not only affected by policies directly addressed at air pollution but also by climate mitigation. This study addresses how different climate policy pathways indirectly bear upon air pollution in terms of improved human health in Europe. It puts in perspective mitigation costs and monetised health benefits of reducing PM2.5 and ozone concentrations.

Air quality in Europe and related health impacts are assessed using a comprehensive modelling suite, based on global and regional climate and chemistry-transport models together with a health impact assessment tool. This allows capturing both the impact of climate policies on emissions of air pollutants and the geophysical impact of climate change on air quality.

Results are presented for projections at the 2050 horizon, for two consistent air pollution and climate policy scenarios. The analysis shows that enforcement of current European air quality policies effectively reduces health impacts from air pollution. A move towards stringent climate policies on a global scale, in addition to limiting global warming, creates co-benefits in terms of reduced health impacts in 2050 in the mitigation scenario relative to the reference scenario and air pollution cost savings in Europe. These co-benefits offset a major part of the additional cost of climate policy in this region.

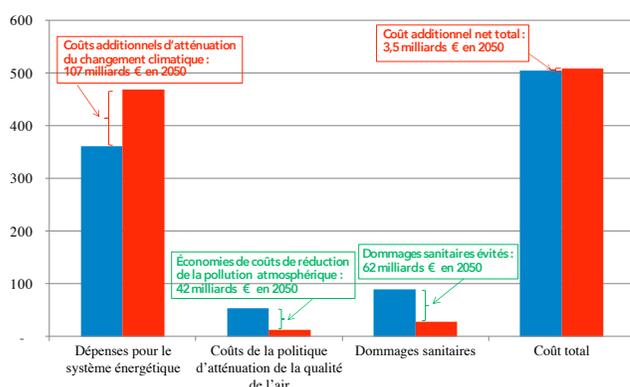


Figure 2

Décomposition des coûts et bénéfices des politiques combinées de lutte contre la pollution atmosphérique et le changement climatique



VERS UN PREMIER ÉTAT DES LIEUX DES PROBLÉMATIQUES DE CORROSION DANS LES BIORAFFINERIES AVANCÉES: premiers résultats du projet ECORBIO

Dans le cadre de l'appel d'offres de projets de recherches structurants émis en 2012 par le Conseil régional de Picardie, la proposition dénommée ECORBIO¹ a été retenue pour un soutien financier par la région et par les fonds européens FEDER (financement de deux post-doctorants). Ce projet a fédéré l'action d'un consortium constitué de six partenaires comprenant l'INERIS (coordinateur du projet), l'université de technologie de Compiègne (UTC), l'université Picardie Jules-Verne (UPJV); le LEREM, le CETIM et MAGUIN SAS. Sa vocation était d'établir un premier état des lieux des problématiques sectorielles de corrosion et d'apporter une contribution à la progression des connaissances dans ce domaine. En effet, un rapide examen comparatif entre bioraffinage et raffinage conventionnel (Figure 1) montre des différences assez marquées en termes de procédés. Ces différences, conjuguées

à la plus grande variabilité chimique des biomasses valorisables, conduisent à des environnements corrosifs assez distincts. Le consortium a mené sa recherche en s'appuyant à la fois sur des démarches analytiques (retours d'expérience, visite de sites, échanges avec des acteurs du bioraffinage), mais aussi en développant des démarches expérimentales classiques ou innovantes. Les principaux résultats étayent les constats suivants: ■ L'apport de l'essai de référence « C1 », défini dans le *Manuel de tests et critères des Nations unies*, pour établir le potentiel de corrosion induit par les substances dans les procédés est très limité, du fait d'un critère très peu contraignant. En effet, un taux de corrosion inférieur à 6,25 mm/an donne un résultat négatif. La substance correspondante est « non corrosive » au sens de la réglementation CLP, y compris pour des jus de bioraffineries connus comme étant corrosifs (Figure 2). De plus, sa mise en

œuvre laisse trop de latitude à l'opérateur pour conduire à un résultat fiable et reproductible; ■ La connaissance sectorielle de la corrosion reste à l'heure actuelle très parcellaire à l'examen de quelques indicateurs bibliométriques (Figure 3). Elle concerne essentiellement les problématiques de corrosion sèche (corrosion haute température) même si l'on constate une augmentation des études relatives au milieu aqueux en lien avec l'avènement des biotechnologies; ■ Le potentiel de corrosion sur deux aciers couramment utilisés en bioraffinage (S235, acier inox 316L) de quatre acides organiques de référence (acide succinique, citrique, lactique et acétique) a été étudié et comparé à l'acide sulfurique dans le cadre de la mise au point d'un protocole de corrosion accélérée par UTC (Figure 4). D'autres approches expérimentales ont été mises en œuvre à l'INERIS et au CETIM (test C1) ou au CETIM uniquement (protocole

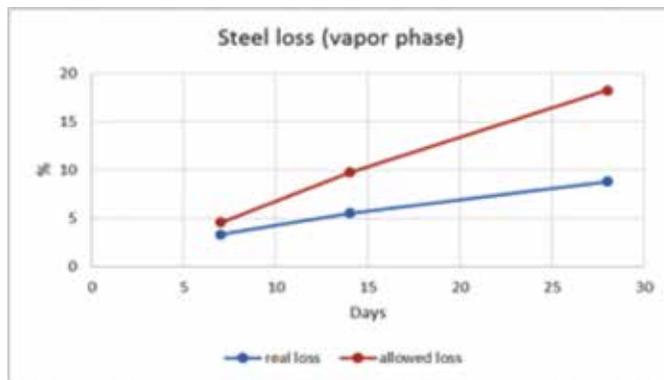
Figure 1

Comparaison des milieux corrosifs « raffinerie conventionnelle/ bioraffinerie » (adaptée d'après présentation Roquette, colloque IFP panorama 2014)

	Petrochemical Processes	Biochemical Processes
Reaction environment	Concentrated	Diluted
Phase type	Gaseous-Solvent	Aqueous
Reaction	High yield (> 80%)	Average yield (50-80%)
Conditions of reactions	Drastic (high T,P)	Generally Mild (low T,P)
Recycle, purification	Easy	Complex

Figure 2

Essai de corrosion réglementaire des vinasses de betterave connues pour leur forte corrosivité révélant un résultat négatif à l'essai C1 quelle que soit la durée d'exposition



« IO-LI-TEC » modifié et tests ampérométriques). Ils ont permis d'établir une stratégie cohérente de pré-examen rapide (pré-diagnostic en 24 heures et moyen terme 7 à 14 jours), en s'appuyant notamment sur la mesure des courants de corrosion dans le cadre de tests d'ampérométrie.

■ Le potentiel de corrosion d'une série de liquides ioniques a été étudié (les mêmes que ceux étudiés dans le cadre de la thèse d'A-O. Diallo, cf. p. 10 rapport scientifique 2011/2012) en s'inspirant d'une méthode décrite par IO-LI-TEC. Nos essais ont révélé des potentiels de corrosion variés d'un liquide ionique à un autre sur les trois métaux testés (acier au carbone, acier inox et alu) et parfois considérablement impactés par la présence d'eau. Cela confirme de premières constatations rapportées récemment dans la littérature. Ces constats ont motivé l'orientation d'une étude de cas relative au prétraitement de diverses biomasses (cellulose témoin, sciure de bois, épicea...) vers la production de bioéthanol 2G, menée par Ingrid Murieta Pazos (post-doctorante UPJV). Des échantillons d'acier S235 et acier inox ont été exposés à des « jus » représentatifs des différentes étapes de la chaîne

de valorisation en carburants 2G (retraitement acide + LI, régénération par co-solvants, saccharification et fermentation alcoolique. Les résultats confirment parfois une certaine influence de l'eau sur le potentiel corrosif des liquides ioniques testés (deux LI base imidazolium à chaîne alkyl courte).

La dernière étape du projet consiste à organiser un workshop international sur les travaux menés dans le cadre d'ECOR-BIO, et plus globalement sur la problématique de la corrosion dans le domaine du bioraffinage.

¹ Pour évaluation des problématiques de corrosion en bioraffineries

Références

Murieta Pazos et al, *Corrosive properties of Liquid fractions issued from ligno-cellulosic biomass pretreatment with imidazolium-based ionic liquids: towards a scale-up of biorefinery strategy*, communication par affiche au Iberoamerican Meeting on Ionic Liquids 2015, Madrid, Spain, 2-3 July 2015.

G. Marlair et al, *Towards a first global assessment of corrosion issues in advanced biorefineries as preliminary learnings from ECOR-BIO*, Communication to EUROCORR 2014, Pisa, Italy, Sept. 2014, 9th to 12th



This paper deals with major findings obtained to date, from the ECOR-BIO project carried out under the leadership of INERIS with 5 other partners (academic, technical, industrial). The project was targeting the assessment of potential corrosion issues emerging in advanced biorefining. Various analytical and experimental methodologies were supporting the work. On focus was: a) the assessment of research effort already performed in the field from bibliometric analysis; b) the evaluation of the performance of the so-called C1 test protocol which is the mandatory tool for qualifying "corrosive to metals" substances according to GHS and relating CLP Regulation applicable in the EU; c) the development and use of a on purpose built accelerated corrosion test rigs for accessing reliable and usable information in a screening process for evaluation the corrosive behavior of ionic liquids with and without interaction of water as well as organic acids of importance in biorefining. Final results will be presented at the CORABIO 2016 international workshop to be held next March in Compiègne as a satellite event of CABIOMASS 2016 organized by UTC.

Figure 3

Progression du nombre de publications (établi en avril 2014) en lien avec la corrosion en bioraffinerie avec divers mots clés répertoriée par « Science Direct »

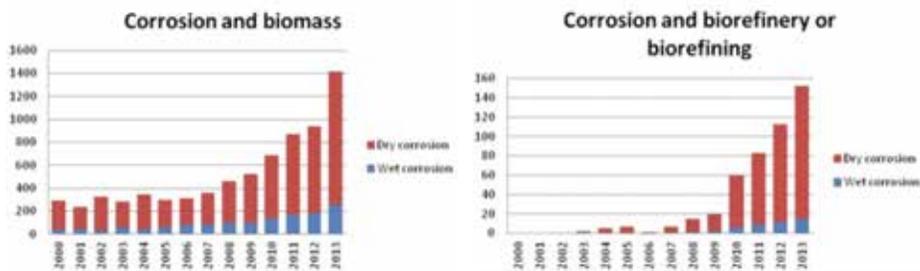
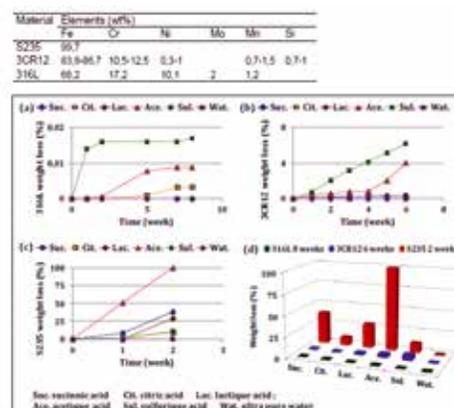
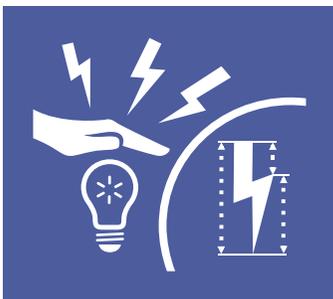


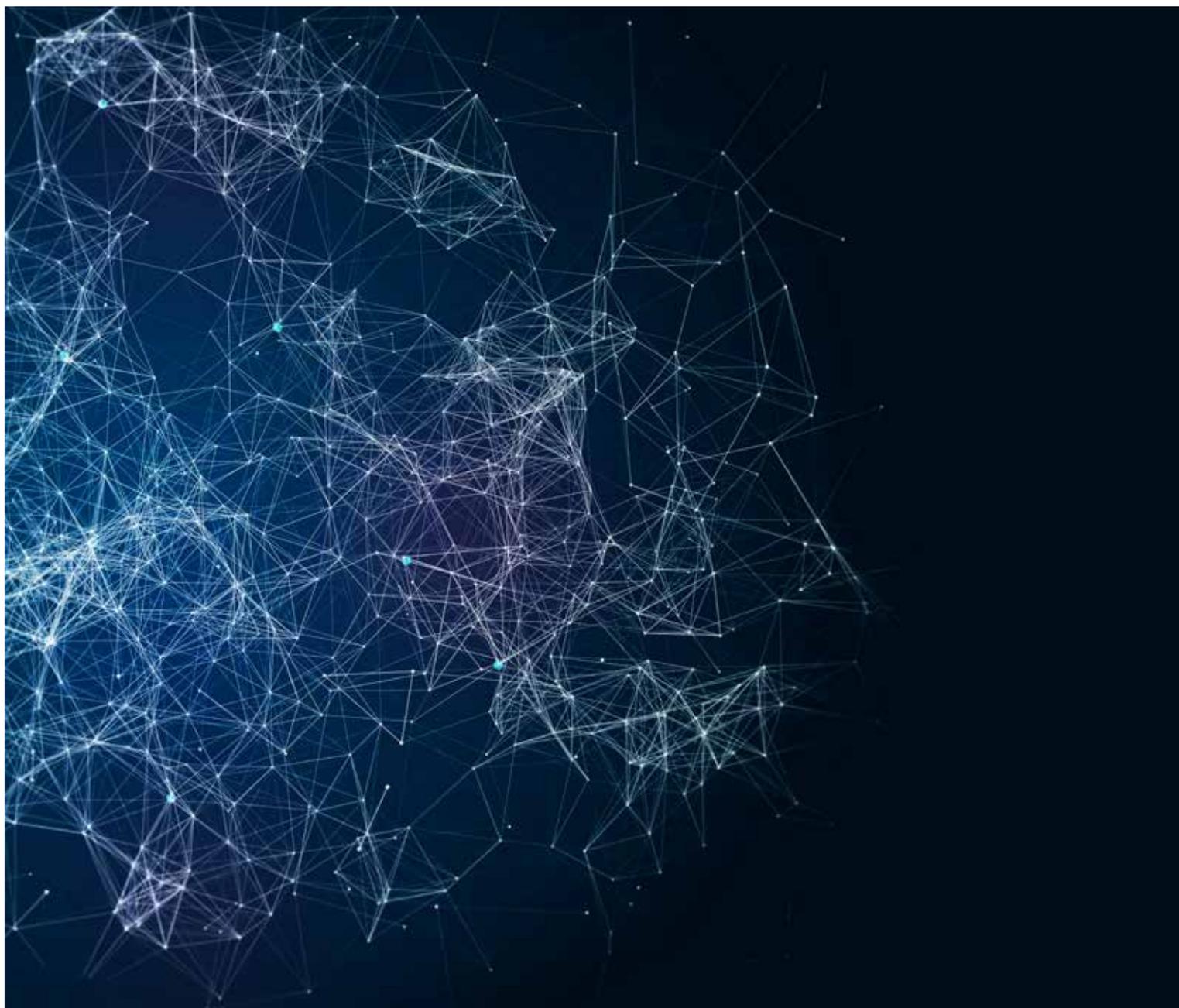
Figure 4

Profil de perte de masse pour trois nuances d'acier établis pour divers temps d'exposition dans le cadre du travail post-doctoral effectué à l'UTC par Éminence Hondjuila-Miokono





ANTICIPER LES RISQUES ÉMERGENTS





Étude du comportement d'un revêtement nanostructuré soumis à des sollicitations climatiques et mécaniques	26
FOCUS S-Nano : plateforme d'étude des propriétés dangereuses des nanomatériaux	28
Effets d'une exposition chronique aux ondes radiofréquences sur la préférence thermique	29



ÉTUDE DU COMPORTEMENT D'UN REVÊTEMENT NANOSTRUCTURÉ soumis à des sollicitations climatiques et mécaniques

Des revêtements photocatalytiques contenant des nanoparticules de dioxyde de titane sont de plus en plus appliqués à l'extérieur des bâtiments du fait de leurs propriétés antibactériennes et autonettoyantes. Lors de leur phase d'usage, les surfaces traitées sont exposées au vieillissement climatique ainsi qu'à des sollicitations mécaniques, pouvant entraîner la détérioration des revêtements et le relargage de nanoparticules dans l'environnement. Diverses études ont permis de constater que certains types de nanoparticules de dioxyde de titane provoquent des effets préjudiciables sur l'homme et certains animaux. L'étude rapportée ici a eu pour objectif de soumettre un revêtement photocatalytique à un vieillissement climatique et à de l'abrasion, cela pour évaluer

et prévoir les émissions potentielles dans l'eau et l'air pendant la phase d'usage.

Méthode

Le revêtement utilisé contient des particules de dioxyde de titane de 8 nanomètres de diamètre, à une concentration volumique de 1,1 %. Ce revêtement a été déposé sur des briques. Ces briques ont été soumises à l'action de la lumière (UV), de l'eau et de cycles de température, pour des durées allant jusqu'à sept mois.

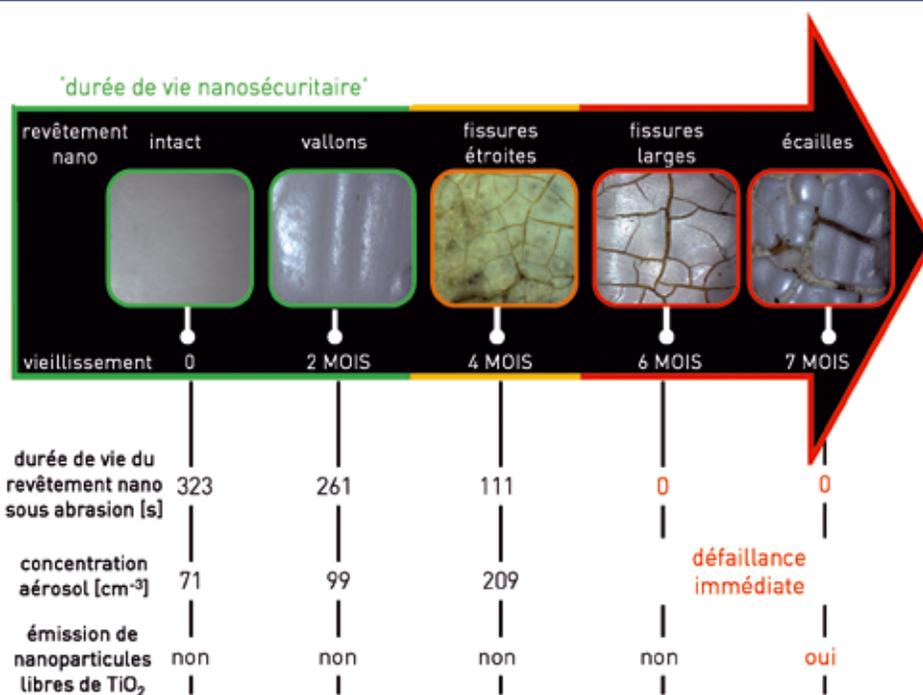
L'eau d'écoulement a été analysée à cinq étapes: produit neuf, puis au bout de deux, quatre, six et sept mois de vieillissement. La concentration en titane a été quantifiée (les nanoparticules du revêtement étant la seule source de titane dans les matériaux testés).

In the present work, we investigate the effect of weathering duration on a commercial photocatalytic nanocoating on the basis of its nanoparticle emission tendency into two media, air and water. It is found that increased weathering duration results in stepwise structural deterioration of the nanocoating, which in turn decreases the nanocoating life, changes the nanocoating removal mechanism, and increases the particle emission concentration. Emission of free TiO₂ nanoparticles is found to be weathering duration dependent.

Three quantities are introduced: emission transition pace (ETP), stable emission level (SEL), and stable emission duration (SED). By linear extrapolation of these quantities from short weathering durations, complete failure of the nanocoatings can be predicted and, moreover, the potential increase of nanoparticles release into the air.

Figure 1

Analyse du revêtement par microscopie.



À chacune des cinq étapes, la brique a été placée dans une chambre d'essai et soumise à abrasion selon une méthode utilisée couramment dans l'industrie de la peinture pour tester mécaniquement des matériaux. La méthode recrée les niveaux de frottement trouvés dans un environnement domestique typique. Les particules présentes dans l'air de la chambre ont été collectées et analysées.

📌 Résultats

Le séjour du revêtement dans la chambre climatique a eu pour effet d'en modifier la surface, celle-ci devenant inégale et parcourue d'un réseau de craquelures; cette dégradation s'accroît fortement au fil du temps (Figure 1). Cependant, à aucune étape le titane n'a été mesuré au-dessus d'un seuil de détection de 0,5 microgramme par litre d'eau: la dégradation semble ne pas avoir mené à un transfert conséquent de nanoparticules dans l'eau. Cependant, une plus longue période de test pourrait produire d'autres résultats.

La mise en œuvre de l'abrasion du revêtement mène à la génération d'un aérosol contenant du titane, quelle que soit la durée du vieillissement climatique.

Les particules sont à l'image du revêtement, c'est-à-dire principalement constituée de la matrice de celui-ci ainsi que d'une part minoritaire de titane. Cependant, une modification très significative est observée au-delà de quatre mois de vieillissement: si à quatre mois le titane (Ti) constitue environ 7 % de l'aérosol, cette contribution passe à 55 % à sept mois. Cela va de pair avec l'apparition, à sept mois, de nanoparticules libres de dioxyde de titane (non liées à une matrice), en quantités significatives (Figure 2).

Ce phénomène est mis en évidence pour la première fois dans la littérature. Cela s'explique par le fait que le couplage abrasion-vieillessement climatique n'a été étudié jusqu'ici que par un nombre très limité d'auteurs, et ce via des tests en chambre d'une durée relativement courte. L'étude ne se limite pas à ces observations: des indicateurs de comportement des revêtements sont proposés, afin de faciliter l'évaluation et la

sélection de formulations, dans une approche d'aide à la conception dans une optique de meilleure maîtrise des expositions.

📌 Remerciements

Ces travaux, menés conjointement avec Martin Morgeneyer de l'université de technologie de Compiègne (UTC) dans le cadre de la thèse de Neeraj SHANDILYA, ont bénéficié du support du Labex SERENADE (ANR-11-LABX-0064), du projet Investissements d'Avenir A*MIDEX P (ANR-11-IDEX-0001-02) de l'ANR, des programmes 190, DRC 26, 33 et 54, ainsi que de l'ANSES (Nanodata Project 2012/2/154, APR ANSES 2012). Sont également remerciés pour leur soutien Olivier Aguerre-Chariol, Patrice Delalain, Morgane Dalle, Laurent Meunier, Pauline Molina, and Farid Ait-Ben-Ahmad.

📖 Référence

Shandilya, N., Le Bihan, O., Bressot, C., & Morgeneyer, M. (2015). *Emission of Titanium Dioxide Nanoparticles from Building Materials to the Environment by Wear and Weather*. *Environmental Science & Technology*, 49(4): 2163-2170. DOI: 10.1021/es504710.

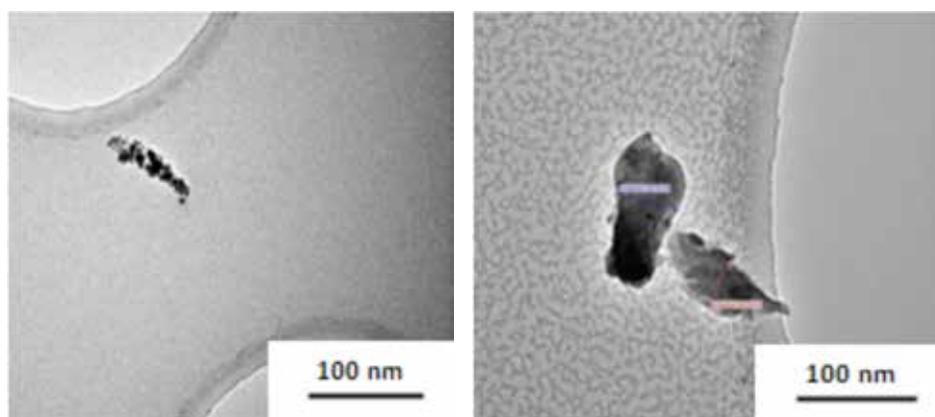


Figure 2
Nanoparticules libres
de dioxyde de titane.

S-NANO: PLATEFORME D'ÉTUDE des propriétés dangereuses des nanomatériaux

Mi-2014, l'INERIS a mis en service la plateforme nanosécurisée (S-NANO). L'Institut dispose ainsi d'un moyen unique en France pour une meilleure compréhension et évaluation des risques engendrés par la production et l'utilisation des nanomatériaux, tout au long de leur cycle de vie, ceci en toute sécurité.

Cette infrastructure de 300 m² est composée de quatre laboratoires à empoussièrément de nanoparticules contrôlé. Dédiée à la métrologie et à la caractérisation des dangers des nanomatériaux, elle a pour objet d'accompagner le développement de produits et de procédés industriels nanosécurisés et l'évaluation des risques des procédés associés. Elle permet de réaliser les activités suivantes:

- étudier les caractéristiques physico-chimiques des nanoparticules et des produits nanostructurés,
- déterminer les paramètres de sécurité des nanomatériaux pulvérulents (inflammabilité, explosivité, électricité statique) de manière à dimensionner et améliorer les dispositifs de sécurité existants,
- analyser et modéliser le comportement des poudres à l'échelle nanométrique (rhéologie, mise en suspension, potentiel de dispersion) et investiguer les mécanismes de granulation et d'agglomération,



New manufactured nanomaterials (NM) may be associated with risks that have to be evaluated and managed to enable a sustainable development.

INERIS has set up a platform for research and expertise. 4 laboratories are dedicated to the metrology and the characterization of hazards, in the context of the safety of industrial processes, with the following objectives:

- *to characterize and understand the intrinsic safety parameters to reduce accidental risks during processes;*
- *to assess the release of nano-objects from products throughout their lifecycle;*
- *to investigate the dustiness and the dispersion of NMs to assess the risk of chronic exposure and the impact of an accidental loss of containment;*
- *to develop associated measurement methods and techniques to enable a safe, efficient and reliable operation of industrial units.*

In the current absence of reliable data about the NM's toxicity, it is a challenge to setup experiments in which NMs are voluntary put into high energetic processes. Proper safety barriers and containment devices are being implemented to enable the safe use and adaptation of safety test apparatuses, some of them initially designed for non toxic micrometric powders.

■ développer des instruments de test, de métrologie et de caractérisation plus performants que l'existant pour un usage sur les nanomatériaux,

■ caractériser l'émissivité de nanoparticules dans l'air ambiant des matériaux et des produits contenant des nanoparticules soumis à des agressions externes de type mécanique (abrasion, usinage), thermique (combustion, incinération), ultra-violet ou chimique tout au long de leur cycle de vie.

Cet outil complète les moyens existants à l'INERIS dédiés à l'évaluation des risques des nanoparticules en métrologie, toxicologie et éco-toxicologie, etc. Il a bénéficié d'un financement conjoint du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et de la région Picardie.

Au sein de cette plateforme l'INERIS offre des services pour les industriels et mène des activités de recherche dans le cadre de projets nationaux ou européens. Certains de ces travaux ont aussi pour objectif de faire évoluer le cadre réglementaire et normatif nécessaire pour développer l'industrie des nanotechnologies en toute sécurité.

Référence

DEBRAY, Bruno ; VIGNES, Alexis ; BOUILLARD, Jacques *Nanosecured platform to assess risks along the industrial lifecycle of nanomaterials 4*. International Conference on Safe Production and Use of Nanomaterials (Nanosafe 2014), 18/11/2014 - 20/11/2014, Grenoble, FRANCE





EFFETS D'UNE EXPOSITION CHRONIQUE AUX ONDES RADIOFRÉQUENCES

sur la préférence thermique

L'objectif de ce travail, effectué dans le cadre de l'unité mixte Péritoix avec l'université de Picardie Jules-Verne, était l'étude de la préférence thermique (*thermopreferendum*) de rats exposés aux ondes radiofréquences (RF). Pour cela, le choix entre 3 enceintes à des températures respectives de 24 °C, 28 °C et 31 °C était proposé aux animaux, et leur répartition dans ces 3 enceintes étudiée. En parallèle ont été étudiés le sommeil et la température cutanée caudale.

L'expérimentation a été effectuée sur des rats Wistar âgés de 3 semaines au début de l'exposition. Les comparaisons ont été effectuées entre deux groupes de 9 animaux, l'un exposé aux ondes RF et l'autre non (groupe contrôle).

Exposition

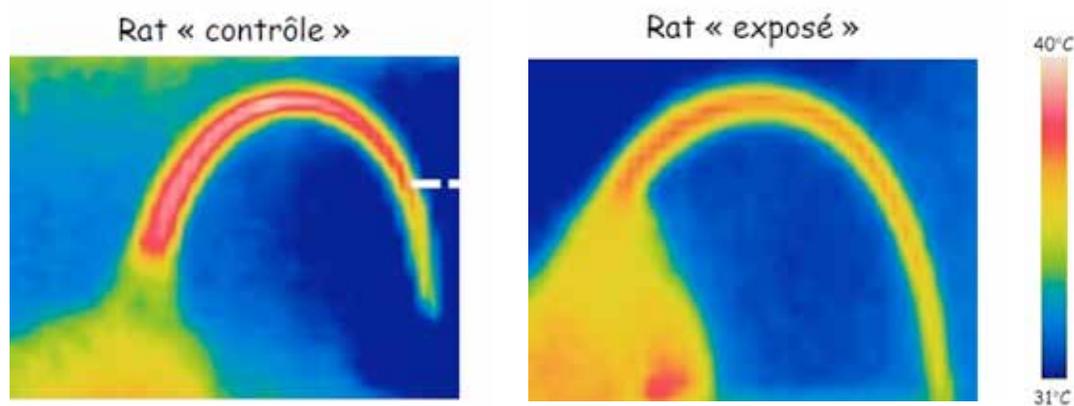
L'étude a été réalisée dans 2 chambres climatiques permettant de contrôler les paramètres environnementaux (température d'air, humidité et photopériode). L'exposition aux ondes RF était émise par un générateur relié à 4 antennes placées au-dessus des cages des animaux. L'exposition correspondait à un champ continu d'une fréquence de 900 MHz et d'une intensité de 1 V/m. Le débit d'absorption spécifique (DAS) des animaux exposés était inférieur à 0,5 mW/kg.

Les animaux ont été exposés ou non aux ondes RF dans une chambre climatique pendant cinq semaines, à une température d'air de 24 °C. Pendant cette période, les animaux

People living near mobile phone base stations may report sleep disturbances and discomfort. Using a rat model, we looked whether sleep disturbances might result from the disturbance of thermoregulatory processes by RF-EMF. We recorded thermal preference and sleep stage distribution in 18 young male Wistar rats. Animals (9 exposed; 9 control) were exposed to low-intensity RF-EMF (900 MHz, 1 V.m-1) during 5 weeks. Thermal preference was assessed in an experimental chamber comprising 3 interconnected chambers, in which the air temperatures (Ta) were set to 24 °C, 28 °C and 31 °C. Sleep and tail skin temperature were also recorded. Our results indicated that relative to control group, during the light period, the exposed group preferred to sleep at Ta = 31 °C and the controls preferred Ta = 28 °C. The mean sleep duration in exposed group was significantly greater (by 15.5 %) than in control group and the frequency of slow wave sleep was greater in exposed group (by 4.9 episodes.h-1). The paradoxical sleep did not differ significantly between the two groups. During the dark period, there were no significant intergroup differences. RF-EMF exposure induced a shift in thermal preference towards higher temperatures.

Figure 1

Température cutanée caudale





ont été habitués à la chambre environnementale, placée sous les antennes. Un animal était dans le dispositif durant quatre heures tous les deux jours et les températures d'air des 3 enceintes étaient de 24 °C. Cette étape a permis de déterminer les éventuelles préférences spatiales de chaque animal sans influence de l'environnement thermique et de les prendre en considération lors de l'analyse du thermopreferendum.

Mesure des paramètres physiologiques

Au début de la 6^e semaine d'exposition, l'activité locomotrice (utilisée pour déterminer le confort thermique), la température cutanée et le sommeil ont été enregistrés pendant vingt-quatre heures. Pour cela, les animaux ont été placés dans une chambre environnementale constituée de 3 enceintes identiques contenant de l'eau et de la nourriture. Chaque enceinte avait sa propre température d'air: 24 °C, 28 °C et 31 °C. Trois

enregistrements non successifs de chaque animal ont été effectués sur une période de vingt-quatre heures, en changeant les températures d'air des 3 enceintes de manière aléatoire.

Résultats

Lorsque les animaux choisissent la température de 31 °C (Figure 1), la température cutanée mesurée par caméra infrarouge était plus faible dans le groupe exposé que dans le groupe contrôle de 1,6 °C en moyenne (37,1 +/- 0,5 °C contre 38,7 +/- 0,4 °C, respectivement, $p = 0,049$).

L'exposition aux ondes RF modifie la préférence thermique mais uniquement le jour pendant lequel les animaux exposés aux ondes RF préfèrent la température de 31 °C (durée de séjour: +21 % comparé au groupe contrôle, $p = 0,015$). Les animaux du groupe contrôle choisissent 28 °C (-13 % comparé aux animaux exposés, $p = 0,038$). La nuit, les 2 groupes d'animaux choisissent 24 °C (groupe exposé: +24,2 %

comparé au jour, $p = 0,008$; groupe contrôle: +15,7 % comparé au jour, $p = 0,049$) (Figure 2).

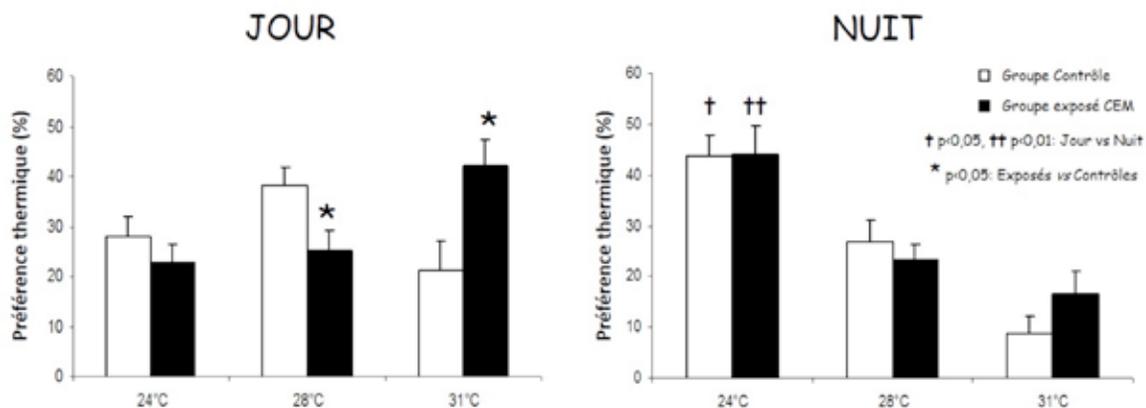
Les différences les plus marquées entre le groupe exposé et le groupe contrôle sont en fonction de la température (écart le plus fort à 31 °C) et pendant la période éclairée qui correspond à la période de sommeil chez les rats (Figure 3).

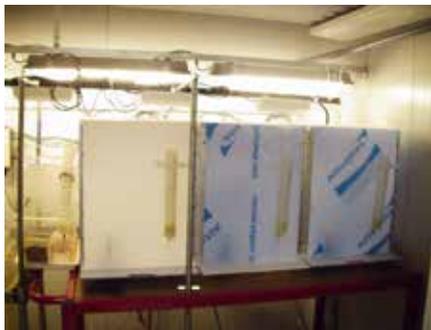
Lorsque les animaux choisissent 31 °C, la durée de sommeil total (TST) est plus grande chez les animaux exposés que dans le groupe contrôle (+15,5 %, $p = 0,009$) principalement en raison d'une augmentation de la durée totale de sommeil lent augmentée (SL: +14,6 %, $p = 0,009$) induite par une augmentation de la fréquence des épisodes de sommeil lent, de 4 à 5 de plus par heure.

Lorsque les animaux choisissent 28 °C, la fréquence des épisodes de sommeil lent (-3,6 épisodes par heure, $p = 0,038$) et la durée de sommeil paradoxal (-2,1 %, $p = 0,027$) du groupe exposé étaient inférieures à celles du groupe contrôle.

Figure 2

Thermopreferendum





Discussion

Indépendamment de tout entraînement, les animaux peuvent librement choisir leur environnement thermique optimal au décours de leurs déplacements naturels. Les paramètres d'exposition ne peuvent vraisemblablement pas produire d'échauffement direct du cerveau et de l'hypothalamus [1].

Pendant la nuit, les animaux des deux groupes préfèrent une ambiance neutre à 24 °C pendant laquelle l'homéothermie est principalement assurée par une augmentation de la production de chaleur métabolique (augmentation d'activité et de consommation alimentaire).

Pendant la journée, les animaux témoins préfèrent évoluer à 28 °C, ce qui est connu car cela permet de prévenir une chute de température corporelle pendant le sommeil et en particulier pendant les périodes de sommeil paradoxal [2].

Il est par contre étonnant de voir que le groupe exposé préfère être à 31 °C dans la journée. Cela est associé à une plus grande durée de sommeil et une moindre température

cutanée de la queue. Ce choix permet de préserver le sommeil paradoxal, stade important mais sensible aux contraintes ambiantes.

Conclusion

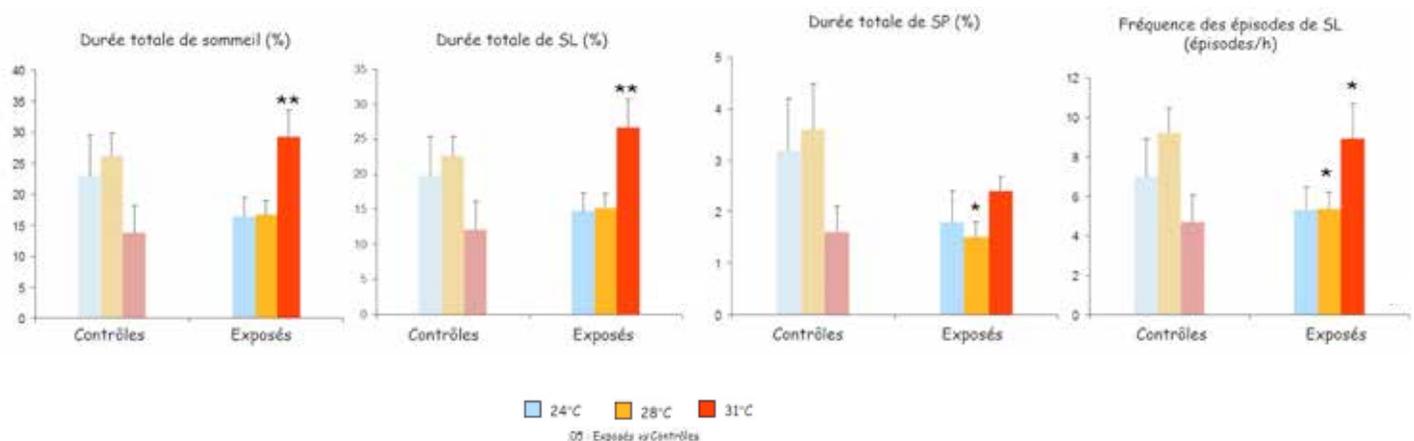
L'exposition aux ondes RF pourrait entraîner une sensation de froid chez les animaux, peut-être par stimulations des récepteurs au froid.

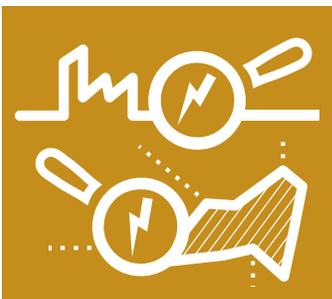
Références

[1] Pelletier, A., Delanaud, S., Decima, P., Thuroczy, G., de Seze, R., Cerrí, M., Bach, V., Libert, J.-P. and Loos, N. 2013. *Effects of chronic exposure to radiofrequency electromagnetic fields on energy balance in developing rats*. Environ Sci Pollut Res Int 20, 2735-2746.

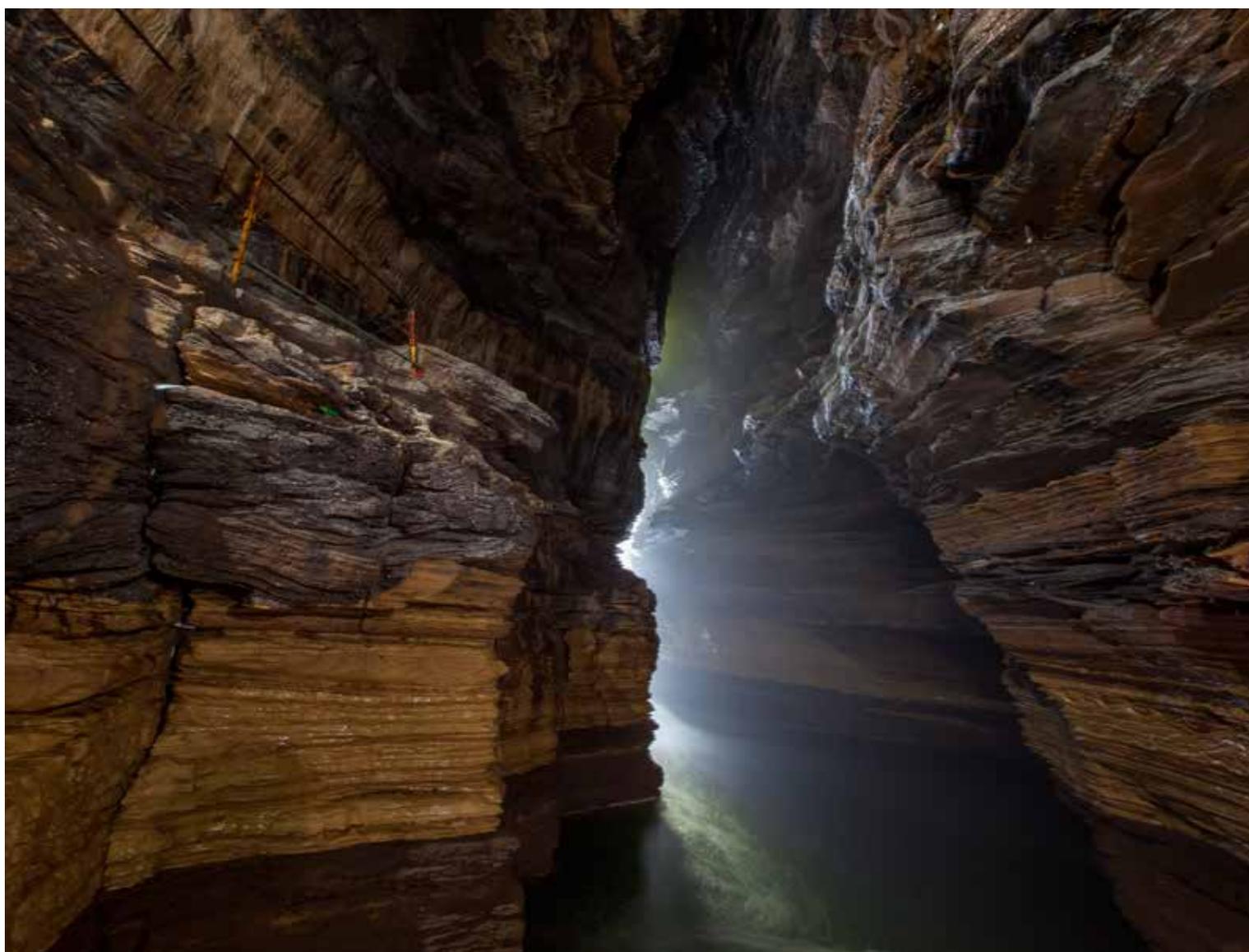
[2] Ray, B., Mallick, H.N. and Kumar, V.M. 2004. *Changes in thermal preference, sleep-wakefulness, body temperature and locomotor activity of rats during continuous recording for 24 hours*. Behav Brain Res 154, 519-526.

Figure 3
Polysomnographie





COMPRENDRE ET MAÎTRISER LES RISQUES à l'échelle d'un site industriel ou d'un territoire





Le projet européen HELIX. Exposome et modélisation toxicocinétique	34
Une méthodologie d'aide à la décision pour évaluer des stratégies de gestion durable des risques naturels dans les zones urbaines	36
Retour d'expérience sur l'effondrement de Clamart du 1 ^{er} juin 1961: synthèse et analyse technique	38
FOCUS Prévenir le risque NaTech en tirant les leçons du séisme du Japon de mars 2011	40
Modélisation du panache odorant de Lubrizol	41
FOCUS Impact du changement climatique sur la stabilité des versants naturels	43
Évaluation des risques environnementaux de déchiquetats de pneus dans des structures de génie civil	44



LE PROJET EUROPÉEN HELIX

Exposome et modélisation toxicocinétique

Le concept d'exposome a été introduit par Christopher Paul Wild en 2005 [1] et représente l'ensemble des expositions auxquelles un individu est soumis tout au long de sa vie, de sa conception à sa mort. L'exposome est particulièrement complexe car il nécessite de prendre en compte non seulement les natures multiples des expositions mais aussi leurs variations au cours du temps. Trois grandes catégories d'exposition ont été proposées par Wild [2] : les expositions externes générales (incluant les aspects sociaux, sociétaux, l'environnement urbain, les facteurs climatiques...), les expositions externes spécifiques (relatives notamment aux contaminants spécifiques, au mode de vie, à la profession, au tabac) et l'environnement interne (métabolisme, flore intestinale, inflammation, stress oxydant). Ce concept d'exposome a été développé afin de compléter

le génome et « d'attirer l'attention sur l'importance d'avoir des données plus complètes sur les expositions environnementales dans le cadre des études épidémiologiques » [2].

Objectifs du projet HELIX

Le projet HELIX (Human Early Life Exposome) a pour principal objectif de mettre en œuvre des outils et des méthodes afin de caractériser l'exposome pendant la petite enfance. Ce projet s'intéresse à un vaste ensemble de facteurs environnementaux chimiques et physiques et à leurs liens avec les effets sur la santé de l'enfant (croissance et obésité, neuro-développement, santé respiratoire) [3].

Le projet s'intéresse tout particulièrement à deux périodes périnatales : la grossesse et la petite enfance. En effet, la grossesse et les premières

années de vie sont reconnues pour être des périodes de vie très sensibles aux facteurs environnementaux, dont les conséquences surviennent tout au long de la vie. Ainsi, les premières années de vie sont un point de départ important pour le développement de l'exposome.

De nombreuses méthodes et approches sont mises en œuvre dans le cadre du projet afin de caractériser l'exposome périnatal, parmi lesquelles, les biomarqueurs d'exposition, les approches basées sur les techniques « omiques », les méthodes spatiales basées sur les systèmes d'information géographiques (SIG), les dispositifs d'exposition personnels, la modélisation toxicocinétique et les outils statistiques.

Le projet est fondé sur six cohortes existantes basées sur des études longitudinales de cohortes de naissance en Europe (Figure 1).

Figure 1

Les cohortes participant au projet HELIX



Cohort	Enrolment years	N subjects (total 32,000)
BIB - Born in Bradford, UK (Wright et al. 2012)	2007-2010	14,000
EDEN - Study of determinants of pre and postnatal developmental, France (Drouillet et al. 2009)	2003-2006	2,000
INMA - Environment and Childhood, Spain (Guxens et al. 2012)	2004-2006	2,500
KANC - Kaunas Cohort, Lithuania (Grazuleviciene et al. 2009)	2007-2009	4,000
MoBa - The Norwegian Mother and Child Cohort Study, Norway (Oslo region) (Magnus et al. 2006)	1999-2009	8,000
RHEA - Mother Child Cohort in Crete, Greece (Iatzi et al. 2009)	2007-2008	1,500





Developmental periods in early life may be particularly vulnerable to impacts of environmental exposures. Human research on this topic has generally focused on single exposure-health effect relationships. The Human Early-Life Exposome (HELIX) project is a collaborative research project (2013-2017) that aims to implement novel exposure assessment and biomarker methods to characterize early-life exposure to multiple environmental factors and associate these with omics biomarkers and child health outcomes, thus characterizing the “early-life exposome” (i. e. the totality of exposures from conception). HELIX is one of the first attempts to describe the early-life exposome of European populations and unravel its relation to omics markers and health in childhood. As proof of concept, it will form an important first step toward the life-course exposome.

Within the HELIX project, we aim to apply toxicokinetic models to evaluate the exposure of fetus and children, and to interpret the biomarker measurements in terms of internal exposure in the target tissues during the critical time periods using toxicokinetic modeling.

Estimation de l'exposome externe par la modélisation toxicocinétique physiologique (PBPK)

Au sein du projet HELIX, la modélisation PBPK sera appliquée pour interpréter les biomarqueurs d'exposition de deux composés perfluorés (perfluorooctanoate [PFOA], perfluorooctanesulfonate [PFOS]) et d'un phtalate (le diéthylhexylphtalate [DEHP]). Les modèles PBPK décrivent le devenir des composés chimiques dans l'organisme en utilisant des données individuelles sur la physiologie des individus et la biochimie des substances [4]. Ces modèles permettent de lier une exposition externe à une exposition

interne au niveau de tissus cibles et ainsi de faire le lien entre expositions et effets sur la santé. Les modèles PBPK sont de plus en plus intégrés dans le cadre d'études épidémiologiques concernant l'exposome [5; 6], notamment en raison de leur capacité à intégrer les différentes approches d'évaluation de l'exposition : mesures directes (biomarqueurs internes) et mesures indirectes (mesures environnementales et/ou modélisation de l'exposition).

Plusieurs protocoles d'échantillonnage des biomarqueurs d'exposition ont été définis selon la persistance des composés dans l'organisme. Ainsi pour les composés persistants tels que les composés perfluorés, les biomarqueurs seront mesurés de façon ponctuelle lors de

la grossesse de la mère et chez l'enfant à 8 ans. Les mesures de biomarqueurs réalisées chez les enfants seront reliées aux données disponibles chez la mère pendant la grossesse en utilisant des scénarios d'exposition qui intègrent les transferts mère-foetus pendant la grossesse et les apports par l'allaitement et par l'alimentation pendant l'enfance.

Pour les composés non persistants, une concentration mesurée de biomarqueur à un temps donné ne peut pas être considérée à l'état d'équilibre et donc ne peut pas être utilisée directement comme substitut de la dose interne. Pour le DEHP, des mesures répétées de biomarqueurs au cours du temps seront donc réalisées afin d'évaluer la variabilité intra-individuelle de ces biomarqueurs.

Ces valeurs seront complétées par des informations sur l'exposition et sur les temps de prélèvements afin de rendre compte de l'exposition au DEHP des individus.

Dans un dernier temps, les modèles PBPK s'intégreront dans la partie la santé du projet. En effet, les modèles permettent d'estimer des concentrations au niveau des tissus cibles et ainsi de faire le lien entre exposition et effets sur la santé.

Avancement du projet

Les données d'exposition sont en cours de recueil et seront disponibles fin 2015-début 2016. Les résultats des travaux du projet seront quant à eux disponibles courant 2017.

Références

[1] Wild CP. 2005. *Complementing the genome with an “exposome”: The outstanding challenge of environmental exposure measurement in molecular epidemiology.* Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention 14: 1847-1850.

[2] Wild CP. 2012. *The exposome: From concept to utility.* International Journal of Epidemiology 41: 24-32.

[3] Vrijheid M, Slama R, Robinson O, Chatzi L, Coen M, van den Hazel P, et al. 2014. *The*

human early-life exposome (helix): Project rationale and design. Environmental Health Perspectives 122: 535-544.

[4] Beaudouin R, Micallef S, Brochot C. 2010. *A stochastic whole-body physiologically based pharmacokinetic model to assess the impact of inter-individual variability on tissue dosimetry over the human lifespan.* Regulatory Toxicology and Pharmacology 57: 103-116.

[5] Ulaszewska MM, Ciffroy P, Tahraoui F, Zeman FA, Capri E, Brochot C. 2012.

Interpreting pcb levels in breast milk using a physiologically based pharmacokinetic model to reconstruct the dynamic exposure of italian women. J Expos Sci Environ Epidemiol 22: 601-609.

[6] Zeman FA, Boudet C, Tack K, Floch Barneaud A, Brochot C, Péry ARR, et al. 2013. *Exposure assessment of phthalates in french pregnant women: Results of the elfe pilot study.* International Journal of Hygiene and Environmental Health 216: 271-279.





UNE MÉTHODOLOGIE D'AIDE À LA DÉCISION pour évaluer des stratégies de gestion durable des risques naturels dans les zones urbaines

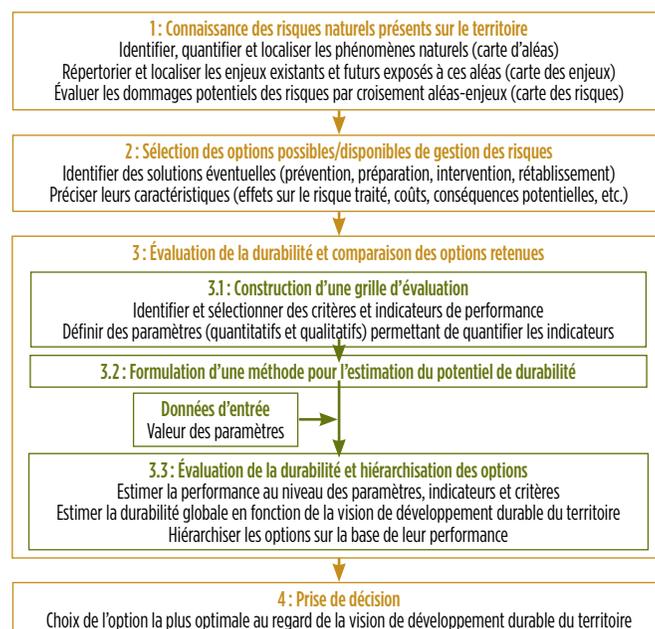


This paper attempts to provide a decision support framework that can help risk managers in urban areas to improve their decision-making processes related to sustainable management. Currently, risk management strategies should no longer be selected based primarily on economic and technical insight. Managers must address the sustainability of risk management by assessing the impacts of their decisions on the sustainable development of a given territory. These assessments require tools that allow comparisons of the effectiveness and the likely economic, social and ecological impacts of the alternative management strategies. Therefore, this paper reports a methodological and operational framework, which aims to incorporate sustainability principles in a particular decision by taking into account all the dimensions that affect sustainability. This paper is divided into two main parts: one on the theoretical aspects of the proposed methodology and the other on its application to a flood risk management case study. The results of the case study have shown how the methodology can be suitable for determining the most sustainable decision.

La société contemporaine manifeste une prise de conscience croissante vis-à-vis du développement durable en général, et de la durabilité des politiques de gestion des risques et des catastrophes d'origine naturelle en particulier. Plusieurs initiatives aussi bien internationales que nationales, académiques ou institutionnelles, se sont intéressées à la problématique de la Gestion durable des risques d'origine naturelle (GDRN). Ces initiatives ont tenté soit de définir la notion de GDRN [1], soit d'en proposer les principes fondamentaux [2], soit d'en suggérer des critères de base [3] ou encore des indicateurs de performance [4; 5] capables d'aider les décideurs à appréhender la contribution potentielle de leurs politiques de gestion des risques au développement territorial durable.

Malgré ces initiatives, le constat est que la prise de décision axée sur la durabilité est une vision récente dans le domaine de la gestion des risques plutôt régie par une vision aléa-centrée et elle est encore relativement peu théorisée. De fait, il n'existe pas d'outil universellement admis pour l'évaluation de la durabilité ni même de la performance des décisions de gestion des risques qui soit applicable indifféremment à chaque cas d'étude et quel que soit le type d'aléa [5]. Pour apporter une réponse à cette problématique, il a été développé dans le cadre du projet INCERDD (prise en compte des incertitudes pour des décisions durables), dont l'INERIS est partenaire, une méthodologie pour l'évaluation de la durabilité des décisions de gestion des risques d'origine naturelle en milieu urbain. La méthodologie

Figure 1
Processus de prise de décision pour une gestion des risques axée sur la durabilité



est basée sur une analyse multicritère des conséquences (positives/négatives, directes/indirectes, immédiates/différées et tangibles/intangibles) des décisions de gestion selon le schéma de principe illustré par la [Figure 1](#). Elle a été construite en trois phases, décrites ci-après.

Élaboration d'une grille de critères et indicateurs

La conceptualisation de la GDRN n'a pas été aisée car il n'en existe presque pas de définition opérationnelle dans la littérature. Il a fallu alors établir une définition du concept de GDRN générique à tous les aléas naturels. La GDRN est une gestion qui vise à garantir sur le long terme une sécurité suffisante pour les populations, leurs biens et le milieu naturel tout en recherchant un compromis acceptable entre les conséquences de ces décisions et les conditions nécessaires au développement économique, social et environnemental des territoires soumis aux risques. Les critères et indicateurs d'évaluation ([Figure 2](#)) ont ensuite été sélectionnés dans la littérature

sur l'évaluation de la durabilité en se basant sur une étude de cas sur la gestion des risques liés aux affaissements miniers à Moyeuville-Grande. Quatre des critères se rapportent aux dimensions de la durabilité; le cinquième prend compte du degré d'atteinte de l'objectif spécifique de la gestion des risques qu'est la réduction des dommages. Chaque critère est décrit par un ou plusieurs indicateurs et les indicateurs quantitatifs sont décrits par un ou plusieurs paramètres.

Proposition d'un protocole de calcul des performances

Le protocole de calcul proposé se veut une démarche scientifique simple et claire pour que tous les acteurs de la gestion des risques puissent comprendre les choix opérés, mais aussi générique que possible pour permettre aux utilisateurs de l'adapter aux spécificités de leur étude. Il consiste en une évaluation relative qui vise à calculer l'impact de la décision par rapport à une situation de référence. Des scores des paramètres et des critères sont ainsi calculés.

Le décideur a alors le choix de classer les décisions sur la base d'un score unique final ou d'une comparaison par paires suivant des règles de décision qu'il aura choisies en fonction de sa vision du développement durable.

Application

La méthodologie a été appliquée à la gestion des risques liés aux inondations à Dieulouard (54) pour tester son opérationnalité. Il s'est agi de comparer trois stratégies de gestion: protection du bâti neuf (S2), construction d'un ouvrage de protection collective (S3) et protection du bâti existant et neuf (S4). La [Figure 3](#) représente le profil de durabilité de chaque stratégie à un instant T donné. Elle permet de visualiser leurs forces et faiblesses au regard des enjeux de durabilité et de les comparer entre elles pour choisir la plus adéquate en fonction de la vision de développement durable du décideur. L'objectif de mettre à la disposition des acteurs de la gestion des risques une méthodologie d'évaluation de la durabilité de leurs décisions a été atteint. Un

engagement politique est dès lors nécessaire pour sa vulgarisation et surtout son application systématique afin de doter les maires des outils adéquats pouvant les aider à prendre des décisions de gestion durable des risques d'origine naturelle.

Références

- [1] Scottish Executive, National Technical Advisory Group on Flooding Issues - NTAG, 2004. *Sustainable flood management sub-group report*. Report for 23 September 2004 NTGA Meeting, 21 p.
- [2] Mileti D., 1999. *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*. Washington, D.C., The Joseph Henry Press, 376 p.
- [3] ISDR, 2003. *A Draft Framework to Guide and Monitor Disaster Risk Reduction*. 4 p.
- [4] Kundzewicz Z. W., 2002. *Non-structural flood protection and sustainability*. Water International, Vol. 27, Issue 1, pp. 3-13
- [5] Carreño M. L. ; Cardona O. D. and Barbat A. H., 2007. *A disaster risk management performance index*. Natural Hazards, Vol. 41, Issue 1, pp. 1-20

Figure 2

Critères et indicateurs de durabilité de la gestion des risques d'origine naturelle

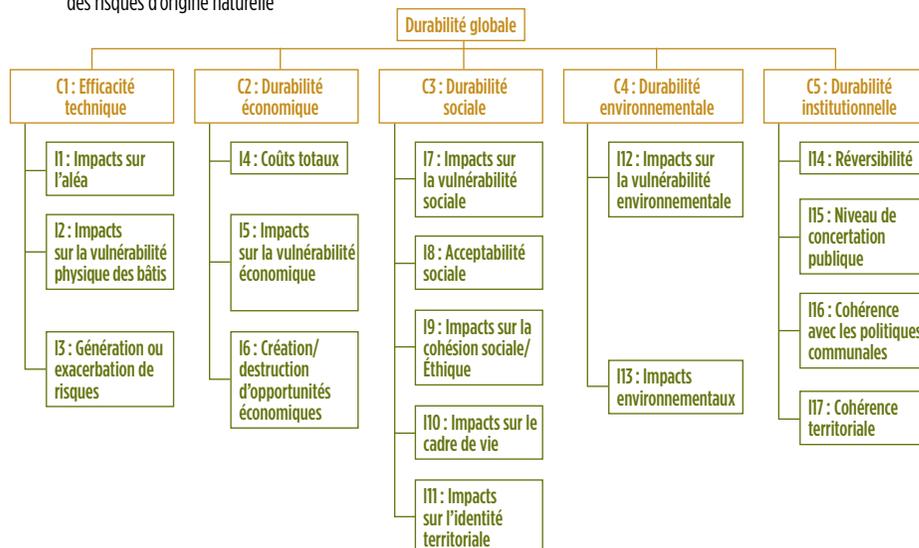
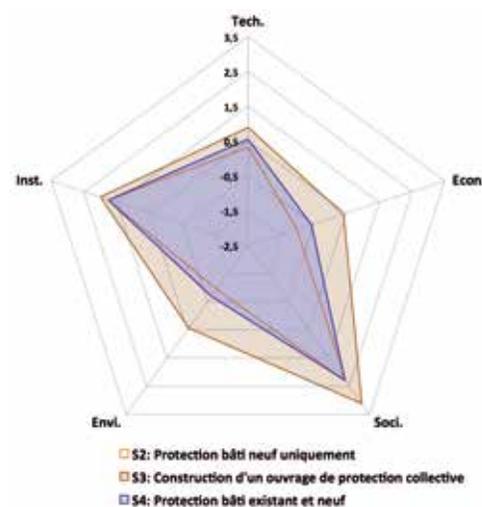


Figure 3

Représentation comparative des profils de durabilité des trois stratégies





RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR L'EFFONDREMENT DE CLAMART DU 1^{ER} JUIN 1961: synthèse et analyse technique

Le 1^{er} juin 1961, une carrière de craie s'effondrait sur les territoires des communes de Clamart et d'Issy-les-Moulineaux, au sud de Paris. Cet effondrement entraîna la destruction d'un quartier sur 3 hectares et fit 21 morts et plus de 50 blessés. Bien qu'assez largement étudiées, les causes de l'effondrement de cette carrière, exploitée par la méthode des chambres et piliers abandonnés, n'ont jamais été établies avec certitude.

L'INERIS a mené une analyse en retour d'expérience à partir des sources documentaires existantes relatives à la configuration du site et au déroulement de l'effondrement. Elles proviennent essentiellement de la base cartographique établie par l'Inspection générale des carrières de Paris avant l'effondrement et des investigations, rapports d'expertise et articles post-accidentels.

Dans le contexte géologique régional du bassin parisien, les principaux terrains constituant le recouvrement des carrières de craie sont

l'argile plastique du Sparnacien puis les formations calcaires du Lutétien. La [Figure 1](#) présente une coupe géologique locale et la position des différents ouvrages souterrains existants sur le site.

La carrière de craie avait été exploitée jusqu'en 1880 sur un niveau dans sa partie nord et sur deux niveaux dans sa partie sud. Le niveau supérieur a été exploité au sud et au nord selon un schéma d'exploitation différent mais dans les deux cas très régulier. La jonction entre les deux zones était caractérisée par une rangée de piliers irréguliers.

Le déroulement temporel de l'effondrement est connu précisément grâce aux enregistrements sismographiques du phénomène. La partie sud s'est effondrée une demi-heure avant la zone nord où étaient situées la plupart des habitations ([Figure 2](#)).

Les données hydrogéologiques recueillies sont peu nombreuses et reflètent de manière imparfaite le comportement de la nappe de la craie au droit de la carrière.

L'étude des données permet d'envisager que la nappe souterraine n'était pas exceptionnellement haute en 1961. Le niveau inférieur de la carrière de Clamart se situait néanmoins dans la zone de battement de la nappe de la craie, fortement amorti par la Seine.

Si les expertises post-événement ont surtout cherché à identifier l'élément déclencheur ayant conduit à l'effondrement et à l'enchaînement des faits, ce retour d'expérience s'est attardé sur la notion d'équilibre limite existant au sein de cette carrière et notamment dans la partie sud où s'est déclenché le premier effondrement.

La résistance mécanique à la compression de la craie a été mesurée en 1961 en laboratoire après l'effondrement de la carrière ([Tableau 1](#)). On note une perte de résistance mécanique dès que l'hygrométrie atteint 65 %. La résistance minimale de la craie est de l'ordre de 2 MPa.

La contrainte moyenne théorique dans les piliers du niveau supérieur, estimée avec la méthode

Figure 1

Coupe géologique et position des différents ouvrages souterrains existants sur le site.

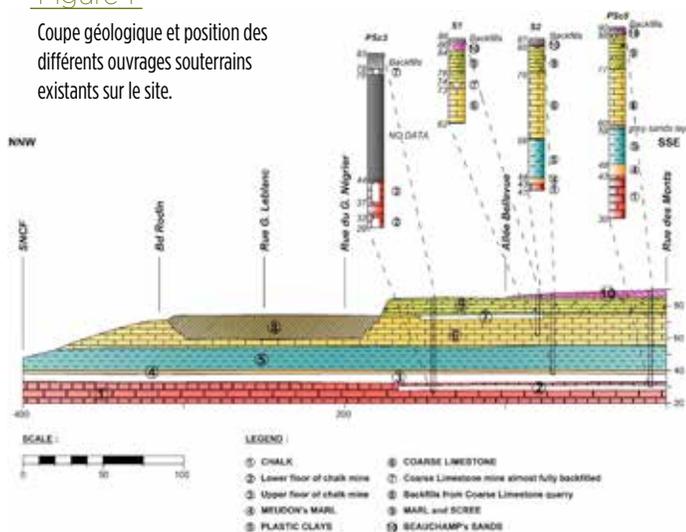
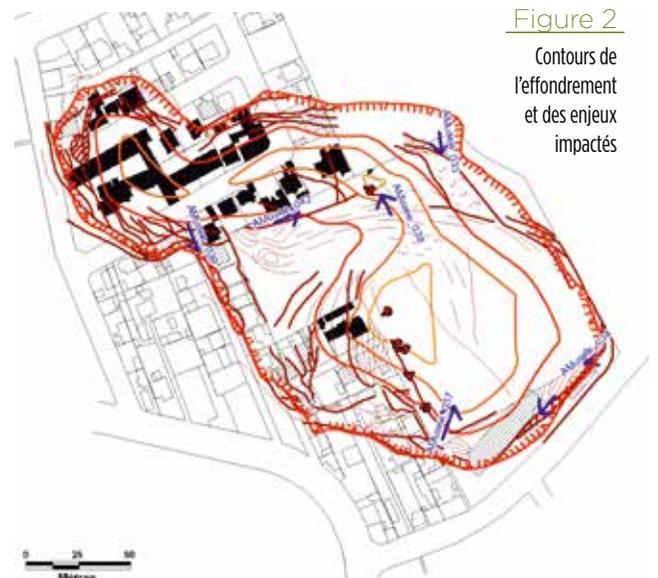


Figure 2

Contours de l'effondrement et des enjeux impactés



de l'aire tribulaire, est voisine de la résistance limite (1,9 MPa) et la configuration sur-critique de ce quartier (extension en tous sens supérieure à la profondeur) est propice à l'effondrement en masse. Le niveau inférieur présente un schéma d'exploitation irrégulier avec des piliers importants. Des informations visibles sur la carte montrent que les voûtes de ce niveau inférieur présentaient de nombreux désordres et plusieurs bourrages de confortement avaient été réalisés en phase exploitation.

Une approche numérique a donc été menée en utilisant le code FLAC3D pour prendre en compte la superposition des piliers et le comportement de la planche intermédiaire (Figure 3). Les résultats tendent à montrer que la réduction d'épaisseur de cette planche influe sur la rupture simultanée de deux piliers superposés et que les remontées de voûte dans le niveau inférieur ne sont pas des phénomènes anodins pour la stabilité globale.

Les retours d'expérience sur les effondrements généralisés soulignent également la notion de banc raide dans le recouvrement. Ce banc doit présenter des caractéristiques géométriques et mécaniques suffisantes pour



In chalk mines, the method of room and pillar mining has been widely used in France. This method results in substantial geohazards and therefore poses a serious public safety issue today. So, many large collapses have occurred during or after their exploitation, as the collapse of Clamart (south of Paris) being well known as one of the most catastrophic. Today, 50 years after the collapse, the main causes of the event are still not well understood. This back-analysis presents the case study, using both an empirical approach and a numerical approach. Based on a set of hypotheses, an empirical approach and 3D numerical modeling have indicated a plausible scenario that may explain the collapse: The large collapse may have been caused by a lack of bearing capacity of the pillars and the sudden rupture of a hard limestone bed on which the load would have accumulated until overload occurred. The bed weakness between the two mine levels may also have had an influence on the mine's general lack of stability. Moreover, under the given hypothesis, the study shows a very low influence of the water table due to flooding of the mine.

reporter des charges sur le massif aux bords de l'exploitation et soulager les piliers. À Clamart, la formation de calcaire grossier du Lutétien, présente uniquement au droit de la partie sud, peut être identifiée comme telle.

Ainsi, ce retour d'expérience montre que les critères classiques basés sur la géométrie de l'exploitation et la configuration géologique du site sont en phase avec la réalité de l'effondrement de Clamart.

La défaillance de la planche intermédiaire dans la zone sud a pu se développer dans les mois précédents, comme cela a été vécu dans d'autres effondrements. En outre, aucun élément déstabilisateur lié à l'eau ne se dégage

clairement de l'analyse des informations disponibles.

Dans la partie nord, l'effondrement de la partie sud a provoqué un report des charges sur les piliers en limite des deux zones. Leur forme un peu moins régulière a pu retarder la propagation de l'effondrement.

Référence

AL HEIB, Marwan ; DUVAL, Christophe; THEOLEYRE, Fiona; WATELET, Jean-Marc; GOMBERT, Philippe. *Analysis of the historical collapse of an abandoned underground chalk mine in 1961 in Clamart (Paris, France)*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2015

Tableau 1

Caractéristiques mécaniques de la craie de Clamart, mesurées en laboratoire après l'effondrement de 1961.

Hygrométrie	Résistance à la compression en MPa
50 %	5,6 ; 3,4 ; 3,5
65%	2,8 ; 5,0 ; 2,5
83%	2,0 ; 2,4 ; 3,2
90%	2,7 ; 2,5 ; 2,0
Immersion dans l'eau pendant 3 semaines	2,1

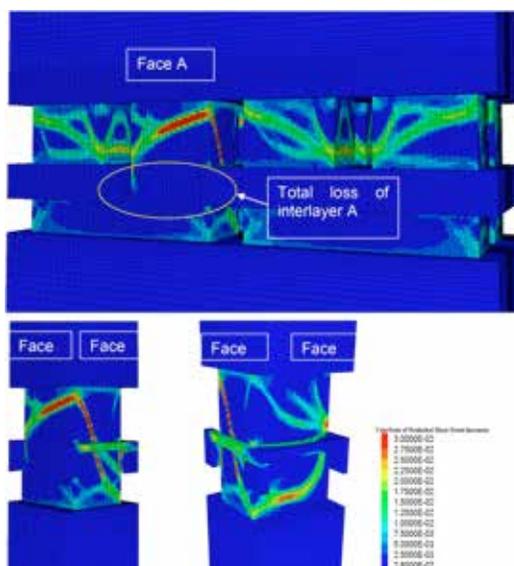


Figure 3

Contraintes dans les piliers pour une réduction de l'épaisseur de la planche intermédiaire.



PRÉVENIR LE RISQUE NATECH

en tirant les leçons du séisme du Japon de mars 2011

Les événements de mars 2011 au Japon ont montré qu'un aléa naturel (séisme, tsunami) pouvait avoir un impact sur une installation industrielle et être à l'origine d'une série d'accidents technologiques notoires ayant des effets dévastateurs sur la population et l'environnement (accident NaTech). Ainsi de nombreuses défaillances techniques ont été relatées sur ces installations à la suite de la catastrophe, ce qui a par exemple provoqué l'explosion de sphères GPL dans la baie de Chiba ou encore des incendies durant plusieurs jours dans la raffinerie de Sendai.

L'INERIS a coordonné dès octobre 2011 le projet de recherche INTERNATECH (*Interdisciplinary study on the mitigation of NaTech risks in a complex world: learning from the Japanese experience applying ERRA NaTech method, iNTeg-Risk project*). Il associe le MSME (Laboratoire modélisation et simulation multi-échelle), la société PHIMECA et l'AIST (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology).

L'approvisionnement en hydrocarbures de l'ensemble du territoire japonais a été fortement ralenti à la suite de ces événements. L'intérêt stratégique que revêtent ces sites nécessite donc qu'une analyse de leur capacité de résilience soit menée. La capacité de résilience d'un système peut être évaluée en précisant deux de ses caractéristiques :

- La quantification des dommages induits sur le système ;
- La capacité à mettre en œuvre des mesures d'adaptation.

Ainsi, le projet Internatech a notamment consisté à caractériser la vulnérabilité d'équipements industriels (réservoirs d'hydrocarbures, tuyauteries...) aux effets du tsunami et du séisme. Pour cela des modèles de prédiction ont été développés afin de caractériser la réponse mécanique des équipements (Figure 1). Ces modèles sont utilisés pour générer des courbes de fragilité indiquant la probabilité de défaillance d'un équipement en fonction d'une sollicitation d'intensité connue (Figure 2). Dans le cadre d'INTERNATECH, les résultats fournis par les courbes

de fragilité ont été implémentés au sein d'une méthodologie d'analyse de risques appliquée à deux sites industriels fortement impactés par la catastrophe (raffinerie de Sendai et raffinerie de Chiba). Cette méthode a contribué à l'identification des séquences accidentelles à l'origine du risque pour chacun de ces deux sites. Les résultats obtenus ont également été utilisés pour hiérarchiser les mesures organisationnelles à mettre en place afin de minimiser les dommages induits sur ces deux sites en cas d'événement naturel.

L'ensemble de ces résultats a permis d'alimenter la réflexion scientifique menée actuellement par les équipes de l'INERIS dans le cadre de la directive européenne de 2007 relative à l'évaluation et à la gestion du risque inondation.

Référence

MEBARKI, Ahmed; WILLOT, Adrien; JEREZ, Sandra; REIMERINGER, Mathieu; PROD'HOMME, Gaëtan *Vulnerability and resilience under effects of tsunamis: case of industrial plants* Procedia Engineering, 2014, 84: p. 116-121

Figure 1

Analyse des conséquences du tsunami sur les réservoirs de stockage d'hydrocarbures. À gauche, un réservoir renversé par le tsunami. À droite, le calcul des efforts induits par un séisme dans la coque d'un réservoir d'hydrocarbures via la simulation numérique.

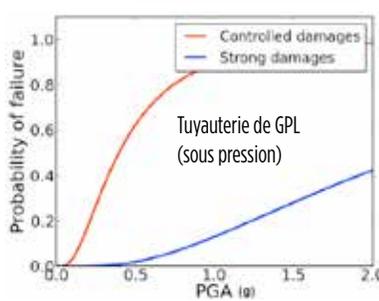
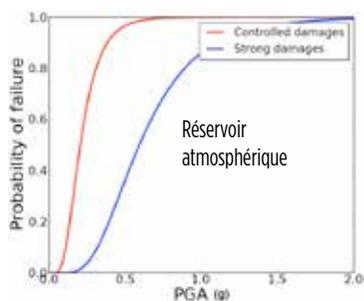
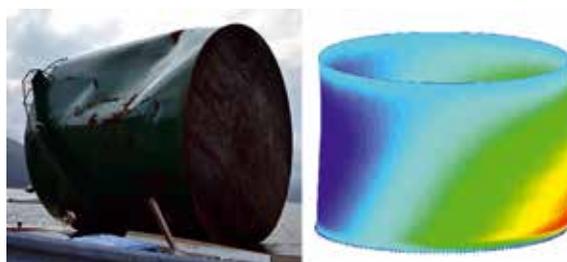


Figure 2

À gauche, la courbe de fragilité d'un échantillon de réservoirs atmosphériques d'hydrocarbures soumis au séisme. À droite, la courbe de fragilité d'un échantillon de tuyauteries sous pression au séisme.





MODÉLISATION DU PANACHE ODORANT de Lubrizol

Le 21 janvier 2013 sur le site de Lubrizol de Rouen, une instabilité des produits contenus dans le bac d'ajustage final de la fabrication du di-alkyl dithiophosphate de zinc (ZDDP) est constatée. Des rejets de composés soufrés ont été émis à l'atmosphère dans des proportions entraînant des nuisances olfactives. Des plaintes de riverains invoquant de mauvaises odeurs, des maux de tête ou des nausées ont ainsi été recueillies par les centres antipoison et de toxicovigilance (CAPTV) et Air normand entre le 21 et le 22 janvier. Le panache a aussi été détecté à Paris dans la nuit du 21 au 22 janvier ainsi qu'au sud de Londres le 22 janvier dans la matinée.

L'INERIS, dans le cadre d'un appui technique au ministère chargé de l'écologie, a été chargé de reconstruire l'évolution temporelle du panache issu du site durant les 24 à 48 premières heures de l'accident [1], à partir des données disponibles sur les conditions météorologiques et le terme source [2].

Modélisation eulérienne et lagrangienne

Après reconstruction du terme source à partir de données mesurées sur le site, des simulations de dispersion du panache

ont été réalisées sur deux domaines avec des outils distincts mais complémentaires :

- un domaine grande échelle englobant la France métropolitaine et le sud de l'Angleterre. Le modèle numérique utilisé est le modèle de chimie transport CHIMERE développé par l'INERIS et le CNRS. L'exercice de modélisation s'appuie sur la procédure qui alimente CHIMERE dans le cadre de PREV'AIR [3] pour établir à J+0 une prévision de la qualité de l'air à haute résolution sur la France (2,5 km).

- un domaine local (20 km par 20 km) englobant l'agglomération de Rouen et centré sur l'usine. Le modèle utilisé est le modèle de type lagrangien MICRO SWIFT SPRAY. Les paramètres météorologiques sont recalculés par le préprocesseur Micro Swift qui permet la reconstruction d'un champ de vent moyen vérifiant la loi de conservation de la masse, lui-même diagnostiqué à l'aide de corrections analytiques induites par la présence d'obstacles tels que les bâtiments.

L'isopropylmercaptan a été retenu comme traceur de la modélisation. D'une part, il a été estimé qu'il s'agit du mercaptan le plus émis au cours de l'événement. D'autre part, il est renseigné dans la littérature pour son caractère fortement odorant, en raison de son seuil olfactif particulièrement bas.



On 21-22 January 2013, an odour of natural gas was smelled by many people in the region extending from Paris to London. Quick investigations showed that a significant release of sulphur compounds in the Lubrizol industrial facility, located in the city of Rouen, was responsible of numerous complaints for uncomfortable odours. These complaints, including spatial and temporal information were collected by the French institute for public health surveillance and a regional air quality association (Air Normand).

INERIS was asked by the French Ministry in charge of Ecology to model the temporal evolution of the plume. After reconstruction of the source term, dispersions modelling were carried out on both regional and local scales. The CHIMERE air quality model was driven by Météo-France model for the regional scale. Simulations at local scale were conducted by using Micro Swift SPRAY model fed by both AROME fields and observations. At regional scale, modelling results show that the odorant part of the plume is well consistent with the occurrence of complaints. At local scale, using the same set of meteorological input data, correlation between simulations and complaints is slightly lower. Ground meteorological observations used as input data for the local scale modelling give better agreement with the complaints.

Figure 1

Étendue spatiale du panache et des sources de plaintes le 21 janvier entre 14 heures et 15 heures (TU) pour le domaine grande échelle. Pas de temps horaire, concentrations en isopropylmercaptan en ppb.

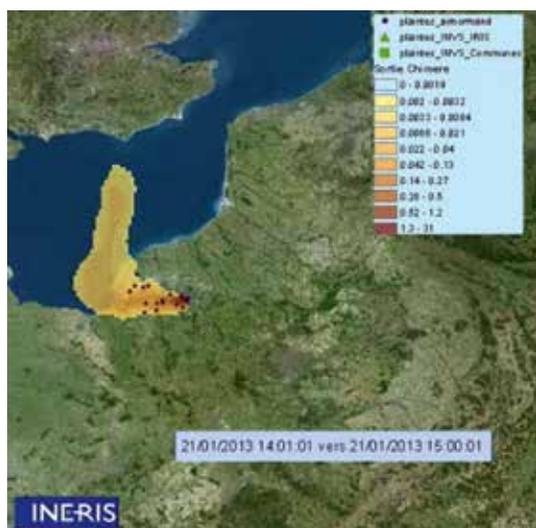
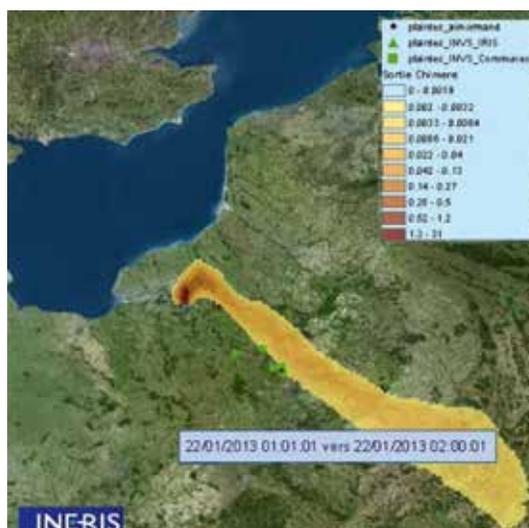


Figure 2

Étendue spatiale du panache et des sources de plaintes le 22 janvier entre 1 heure et 2 heures (TU) pour le domaine grande échelle. Pas de temps horaire, concentrations en isopropylmercaptan en ppb.



Données météorologiques modélisées et observées

Les données météorologiques utilisées en entrée pour la modélisation « grande échelle » sont issues du modèle AROME de Météo France, 2,5 km de résolution, et développé spécifiquement pour capturer des phénomènes météorologiques de petite échelle. Les données AROME au pas de temps horaire et en trois dimensions sont issues de la prévision de 00:00 TU pour chacun des jours simulés.

La modélisation à l'échelle locale a été effectuée sur la base de données météorologiques quart-horaires. Une reconstruction de la météorologie du site a été réalisée en couplant les données quart-horaires de la station météorologique de surface d'Air normand et les profils verticaux horaires du modèle AROME.

Résultats

Les modélisations ont été superposées à la chronologie d'apparition des plaintes entre le 21 janvier 8 heures et le 22 janvier 22 heures.

Pour les modélisations grande échelle, les isocontours du panache modélisé sont représentés lorsque la concentration dépasse le seuil de perception de l'isopropyl mercaptan. En fixant la valeur basse de l'échelle des concentrations visualisées à 10 % de la valeur du seuil de perception retenu soit 6.10-4 ppb, la comparaison des cartographies obtenues avec la géolocalisation des plaintes est cohérente: l'arrivée du panache odorant sur Paris est constatée vers minuit heure locale puis dans la matinée du

22 janvier pour le sud de l'Angleterre. Les appels et le passage du panache concordent jusqu'à 6 heures le 22 janvier, heure à laquelle le débit massique émis par Lubrizol a déjà fortement chuté. Après 6 heures, des plaintes sur Paris sont constatées alors que le nuage se dirige plus au nord de la France. Ces appels peuvent être interprétés par la concomitance entre les heures de réveil de la population sur Paris et la rémanence des odeurs dans les logements.

Les résultats de modélisation à l'échelle locale montrent que les fluctuations de la météorologie influencent de manière significative la dispersion du panache à cette échelle. La reconstruction du panache sur toute la période est donc particulièrement difficile en raison du changement important de la direction du vent (basculement sur 360°).

Une bonne corrélation entre le nuage odorant et les plaintes est cependant observée pour le matin et la soirée du 21 janvier, à l'inverse de l'après-midi. L'étalement du nuage entre 18 heures et 19 heures sur Rouen permet cependant d'expliquer le pic d'appels. La reconstruction météorologique à partir de données d'observations quarts-horaires et de données modélisées a permis une meilleure adéquation entre résultats de la modélisation et répartition des plaintes.

Conclusion

Les modélisations reflètent une situation de rotation du vent de 360° en 24 heures qui montrent que toutes les directions autour du site ont été impactées entre le 21 et le

22 janvier, expliquant la dispersion du nuage vers Paris et jusqu'au sud l'Angleterre.

L'exercice de superposition des plaintes à la dispersion du nuage odorant a permis:

- de confirmer l'origine des nuisances ressenties au regard de l'événement accidentel,
- de conforter la fiabilité de la modélisation et des hypothèses adoptées,
- d'affiner les données d'entrée de la modélisation à l'échelle locale en augmentant la résolution temporelle des données météorologiques d'un pas de temps horaire à un pas de temps quart-horaire.

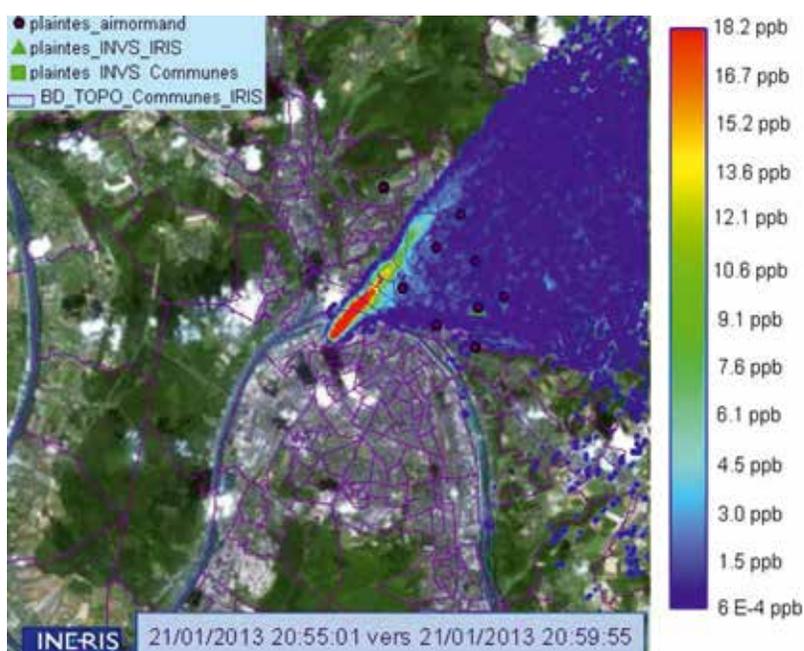
Des travaux communs ont été lancés avec Météo-France pour renforcer la collaboration et l'expertise sur le thème de la micro-météorologie qui produit les données nécessaires en entrée des modèles de dispersion.

Références

- [1] F. Tognet, M. Durif, F. Meleux, L. Letinois, E. Boulvert, M. Ramel, P. Bodu, A. Colette, B. Bessagnet, L. Rouil *From Paris to London, post accidental dispersion modelling of a single point source release: The Lubrizol case study*, 16th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, 8-11 September 2014, Varna, Bulgaria.
- [2] Conseils de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques (CODERST) Rouen, Fév. 2013
- [3] www.prevoir.org

Figure 3

Étendue spatiale du panache et des sources de plaintes le 21 janvier vers 21 heures (TU) pour le domaine local. Pas de temps quart-horaire, concentrations en isopropyl mercaptan en ppb.



IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE sur la stabilité des versants naturels

Les versants font partie intégrante du paysage naturel. Plusieurs facteurs influent sur leur stabilité comme l'environnement extérieur et particulièrement les paramètres climatiques. L'objectif de l'étude menée par l'INERIS est d'investiguer l'impact du changement climatique sur la stabilité des versants naturels et en particulier comment le changement climatique impacte les mécanismes de glissement dans des massifs naturels. La stabilité d'un versant est évaluée par un coefficient de sécurité qui dépend principalement de caractéristiques géotechniques de la surface potentielle de glissement (frottement, cohésion, etc.). Ces

facteurs dépendent fortement des paramètres climatiques. Dans le contexte du changement climatique, les températures et les précipitations subissent des variations importantes perturbant le cycle climatique normal et favorisant l'augmentation des phénomènes extrêmes (pluie diluvienne, sécheresse intense). Des outils ont été développés pour évaluer l'impact direct du changement climatique via les facteurs climatiques (température, précipitations, etc.) et l'impact indirect via l'environnement (végétation, etc.) sur la stabilité des versants, notamment l'évolution de la fréquence et de l'intensité de ces aléas. La synthèse des publications

disponibles montre qu'en milieu montagnard, l'intensité de l'aléa glissement superficiel et la fréquence de l'aléa chutes de blocs augmentent du fait de la dégradation du pergélisol, du retrait glaciaire et des changements dans les cycles de gel/dégel. L'augmentation des précipitations intenses et prolongées saturant les terrains et produisant des pressions interstitielles transitoires élevées ainsi que la perte de la végétation, favorise la survenue des glissements de terrain sur les sites naturels. Enfin, un changement dans les régimes de précipitations est de nature à réactiver d'anciens glissements profonds plutôt qu'à en créer de nouveaux.

📖 Références

Barring, L. & Persson, G. 2006. *Influence of climate change on natural hazards in Europe*. Geological Survey of Finland. Special Paper 42, 93-107, 4 figures, 2 tables, 1 map.

Bastone V., De la Torre Y., 2011. *Étude préliminaire de l'impact du changement climatique sur les risques naturels à la Réunion*. 135 p.

Bo, N.W., Fabius M., Fabius K., 2008. *Impact of global warming on stability of natural slopes*. Proceedings of the 4th Canadian Conference on Geohazards. Université Laval, Québec, 594 p.

Collison A., Wade S., Griffiths J., Dehn M., 2000. *Modelling the impact of predicted climate change on landslide frequency and magnitude in SE England*. Engineering Geology 55 (2000) 205-218.

Didier C., Gombert P., Al Heib M., Charmoille A., 2010. *Impact du changement climatique sur la stabilité des cavités souterraines*. Rapport INERIS DRS-10-103862-00411A.

Dixon N., Brook E., 2007. *Impact of predicted climate change on landslide reactivation: case study of Mam Tor, UK*. Landslides (2007) 4: 137-147 DOI 10.1007/s10346-006-0071-y. 11 pages.

GIEC (2007). *Bilan 2007 des changements climatiques*. Rapport de synthèse: 114p.

Gunzburger Y., Merrien-Soukatchoff V., Guglielmi Y., 2004. *Influence of daily surface temperature fluctuations on rock slope stability*. Rock Mechanics & Mining Sciences 42 (2005) 331-349

Huggel C., Khabarov N., Korup O., Obersteiner M., 2012. *Physical impacts of climate change on landslide occurrence and related adaptation*. Manuscript for the Cambridge University Press Book.

ONERC, 2008. *Changement climatiques dans les Alpes: Impacts et risques naturels*. Rapport Technique N°1 de l'ONERC dans le cadre du projet ClimChAlp, octobre 2008.

Prudent G., 2008. *Impacts observés et potentiels du changement climatique sur les aléas naturels*. Synthèse du projet ClimChAlp, Working Package 5 - Mouvements de terrain

Rathnaweera TD., Palihawadana MP., Rangana HLL., Nawagamuwa UP., 2012. *Effects of climate change on landslide frequencies in landslide prone districts in Sri Lanka*. Civil Engineering Research Exchange Symposium 2012.

Saad A., 2012. *Influence du changement climatique et des conditions extrêmes sur les massifs fracturés. Rôle des fluides dans leur processus d'altération*. Thèse réalisée à l'IFFSTAR.





ÉVALUATION DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX DE DÉCHIQUETATS DE PNEUS dans des structures de génie civil

Les pneus peuvent être utilisés en génie civil comme matériau de constitution d'ouvrages en conférant à ces derniers, une certaine élasticité. Le projet ANR REMPARE a testé la construction d'ouvrages de protection des routes et voies ferrées, dits « merlons », contre la chute de blocs en montagne (Figure 1 a). La partie centrale de l'ouvrage est constituée de gabions remplis d'un mélange de calcaire broyé et de pneus broyés (Figure 1 b).

Le comportement au feu et l'impact environnemental des pneus déchiquetés (30 %) et du calcaire broyé (70 %) ont été évalués par un essai de combustion, des analyses en contenu total et des essais de lixiviation, de percolation, et durant une année, un suivi en lysimètres sur la plateforme Ardevie de l'INERIS. Les éluats collectés ont été analysés (plus de 200 paramètres physico-chimiques) et leur écotoxicité mesurée sur une bactérie et un micro-crustacé.

Des lixiviations ont été réalisées sur le résidu d'incendie.

Comportement au feu

Les broyats de pneu sont combustibles, particulièrement en cas de contact avec une source d'inflammation ayant une température supérieure à 320 °C. L'essai réalisé a porté sur un mélange de sable et de broyat de 354 kg, formant un amas de 2 m de longueur et 40 cm de hauteur. Après allumage à une extrémité, le feu s'est progressivement propagé à l'ensemble de cet amas. Le taux de combustion a rapidement augmenté pour atteindre son maximum quinze minutes après l'allumage. Le court plateau de puissance est suivi d'une diminution de deux heures, commençant quand le feu a brûlé toute la surface extérieure. Le feu a atteint l'extrémité opposée de la source d'allumage en vingt minutes, tandis que dans

le même temps, il commençait à s'éteindre à l'autre extrémité. Ce délai permet de calculer une vitesse de propagation du feu. À une distance proche de la surface, les valeurs maximales de température étaient supérieures à 700 °C, alors qu'en profondeur la montée en température est restée faible, avec des évolutions négligeables au-delà de 20 cm de la surface. L'examen réalisé après le test a révélé que le feu ne se propage pas dans le mélange (Figure 2), mais seulement sur une couche superficielle de 5 cm d'épaisseur. Les gaz et la suie générés ont été mesurés. Le feu a produit une très grande quantité de dioxyde de carbone, qui représente deux fois la masse de pneu brûlée.

Comportement environnemental

La littérature d'évaluation environnementale des pneus en usage de génie civil mentionne

Figure 1

Structure expérimentale modulaire et réparable de protection contre les chutes de blocs de 3 m d'épaisseur (a) avec au centre un remplissage de calcaire et de pneus broyés (b)



Figure 2

Coupe du mélange de pneus broyés et de sable après l'essai incendie.



la présence de traces de nombreux composés organiques et de zinc, avec un impact environnemental négligeable. La liste des composés constitutifs des pneus et donc à mesurer (3200) a été établie. En scénario d'usage « merlon » d'application ici, les transferts vers l'environnement peuvent se produire par solide (éventration de l'ouvrage à la suite de chutes de pierre), par solide brûlé (en cas d'incendie), et par les eaux de percolation dans l'ouvrage intact (eaux de pluie) et brûlé (eaux d'extinction). Les essais correspondant à ces différents cas ont été menés en laboratoire (lixiviation, percolation) et en lysimètre (1600 kg de mélange sable calcaire-pneu exposés dix mois à 633 mm de pluie en climat méditerranéen). Les concentrations mesurées sur une très large gamme de contaminants sont en dessous des valeurs réglementaires et n'ont pas d'effets écotoxicologiques.

Une activité biologique a été détectée (ammonium/nitrate) dans les tests en colonnes. Les quantités émises par les tests en colonnes sont, à rapport liquide/solide égal, de 1 à 50 fois supérieures aux quantités émises par le lysimètre (Figure 3), qui présente donc un mécanisme

de complexation/immobilisation nécessitant du temps. Des composés organiques ont été retrouvés à l'état de traces dans les éluats du lysimètre (quantité cumulée exprimée par kg de mélange pneu/sable): HAP (naphthalène, acenaphthylène, fluorène, phénanthrène, pyrène) $9 \cdot 10^{-6}$ mg/kg, aniline et diphenylamine $1 \cdot 10^{-2}$ mg/kg, phénol $6 \cdot 10^{-4}$ mg/kg et en hydrocarbures C10-C40, 0,13 mg/kg avec un épuisement des fractions au bout d'une année (Figure 3).

Le mélange sable/déchiquetats de pneu pour un rapport massique de 70/30 est éco-compatible pour l'usage défini. Les essais en laboratoire et à l'extérieur ne mettent pas en évidence d'impact sur l'environnement significatif. En cas de combustion, les résidus superficiels de combustion contiennent du zinc et du sulfate lixiviable et doivent être traités comme des déchets dangereux.

Référence

P. Hennebert, S. Lambert, F. Fouillen, and B. Charrasse. *Assessing the environmental impact of shredded tires as embankment fill material*. Can. Geotech. J. 51: 469 – 478 (2014). [dx.doi.org/10.1139/cgj-2013-0194](https://doi.org/10.1139/cgj-2013-0194)



The paper addresses different facets of the impact on the environment of tire shreds mixed with limestone sand. Pollution of water, impact on living species and risks associated with fire are considered. The risk of propagation of fire to the whole structure is limited to the first 5 cm layer. The tire-sand mixture and its fire residue are then evaluated for the risk of water pollution. The compounds release is evaluated thanks to three different tests (batch leaching test, column test, and lysimeter). The collected liquids are analysed considering more than 200 parameters, including concentration in metals and concentration in organic compounds (PAH, phenols, TPH...). Their toxicity is measured on two aquatic species: a bacteria and a small shellfish. The measurements are discussed and compared with previously published data as well as with the French regulations concerning groundwater water quality and use of tires in civil engineering applications. Finally, the results confirm that this application is not critical to the environment, with exception of fire residues, which are hazardous waste (due to soluble zinc content) and must be stabilised before landfilling.

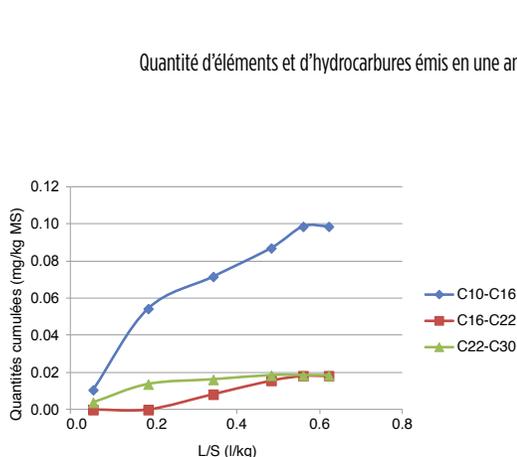
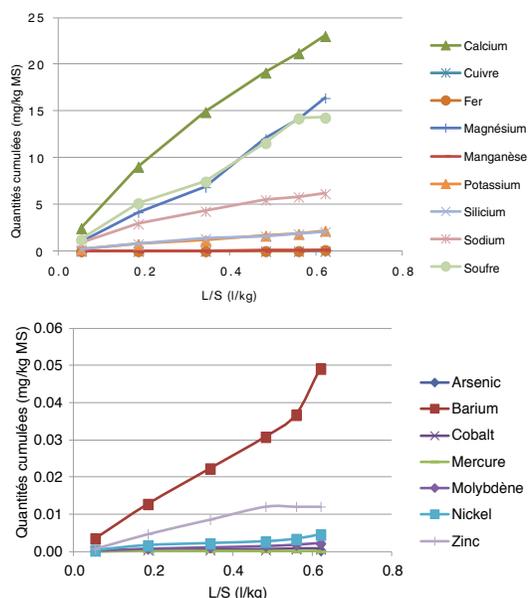


Figure 3
Quantité d'éléments et d'hydrocarbures émis en une année en lysimètre



CARACTÉRISER LES DANGERS DES SUBSTANCES ET PRODUITS, et leurs impacts sur l'air, l'eau, les sols et les organismes vivants





Compréhension des sources et des processus de formation de la pollution particulaire dans l'air ambiant	48
FOCUS Principaux axes d'évolution de la surveillance de la qualité de l'air	50
Évaluation de modèles (Q)SAR pour la prédiction de la génotoxicité d'Ames: un exercice rétrospectif sur les substances chimiques enregistrées dans le cadre du règlement européen REACH	51
FOCUS Les acariens prédateurs: modèle biologique pour l'évaluation de l'écotoxicité des sols	53
Développement d'approches d'évaluation des dangers (éco)toxicologiques de substances émergentes issues de la chimie verte: les liquides ioniques.	54



COMPRÉHENSION DES SOURCES ET DES PROCESSUS de formation de la pollution particulaire dans l'air ambiant

Les particules en suspension (ou aérosols) représentent aujourd'hui la classe de polluants atmosphériques la plus préoccupante en matière de santé publique et d'impact environnemental. De par la multiplicité de leurs sources d'émissions et de leurs processus de formation, ces particules ont une composition chimique complexe encore mal connue. Par ailleurs, une meilleure maîtrise de leurs sources anthropiques est devenue un enjeu majeur de la surveillance de la qualité de l'air en Europe du fait du non-respect des valeurs limites fixées par la Directive 2008/50/CE dans nombreux États membres (dont la France) et de l'obligation qui leur est faite d'expliquer l'origine des dépassements de ces valeurs limites.

En amont de ses missions d'appui au sein du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air pour le ministère chargé de

l'Écologie, l'INERIS développe depuis plusieurs années des travaux de recherche expérimentale sur ces thématiques. En particulier, Jean-Eudes Petit a soutenu en novembre 2014 une thèse de doctorat ayant pour principaux objectifs :

- la création d'une station d'observation de fond en région Île-de-France, équipée d'un parc instrumental novateur pour la caractérisation en temps réel des propriétés physico-chimiques et optiques des aérosols ;

- l'application d'outils statistiques aux jeux de données obtenus, pour l'identification des sources et les diverses origines géographiques des polluants.

Notamment basé sur l'utilisation de l'Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM), ce travail de thèse s'inscrit dans la dynamique de création d'une communauté

scientifique internationale via le programme européen ACTRIS. Il a été réalisé en étroite collaboration avec le Laboratoire des sciences de climat et de l'environnement (LSCE) au Site instrumental de recherche par télédétection atmosphérique (SIRTA) (Figure 1). Les résultats de ces travaux de recherche sont notamment exposés dans deux publications scientifiques parues récemment dans la revue *Atmospheric Chemistry and Physics*.

Des outils statistiques au service de la recherche expérimentale

L'origine géographique des polluants a été déterminée par couplage entre leurs concentrations et les paramètres météorologiques. Cette

Figure 1

Vue extérieure du SIRTA/LSCE



Figure 2

Calibrage de différents ACSM pour l'ACMCC



approche a permis d'éclairer la saisonnalité de l'origine géographique de certaines composantes chimiques.

Elle met notamment en lumière l'influence déterminante des émissions locales (Paris et ses alentours) sur les niveaux d'aérosols carbonés liés aux sources primaires (telles que le transport routier et le chauffage au bois) en hiver, ainsi que l'importance du fond régional sur les concentrations des espèces inorganiques secondaires, telles que le nitrate d'ammonium, lors des épisodes de pollution persistants fréquemment observés au début du printemps.

L'analyse statistique de type Positive Matrix Factorization (PMF) constitue actuellement l'un des fondements du travail scientifique pour la déconvolution des sources d'aérosols. Jusqu'à présent, et dans le contexte de mesures réalisées par spectrométrie de masse en temps réel, ce type d'analyse statistique n'était appliqué qu'à la matière organique, ne permettant pas d'obtenir des informations sur les sources de l'ensemble de la matière particulaire.

C'est néanmoins cette fraction totale qui est soumise à la surveillance réglementaire. Les travaux de thèse de Jean-Eudes Petit ont permis la mise au point d'une méthodologie innovante offrant la perspective de déconvoluer les principales sources de l'ensemble des particules fines.

Cette méthodologie est basée sur l'utilisation de deux PMF consécutives, en combinant les fractions organiques obtenues d'une première analyse avec les autres constituants particuliers dans une deuxième étape. Cette approche a été appliquée sur une période

charnière, située entre la fin de l'hiver et le début du printemps 2012, concentrant la moitié des épisodes de pollution persistants observés pendant l'ensemble de la période d'étude.

Une expertise technique transférée vers les réseaux de surveillance

Ces jeux de données sont aujourd'hui disponibles pour la réalisation d'exercices de comparaison avec les sorties de modèles numériques de type chimie-transport, dans l'optique de leur optimisation pour l'amélioration de la prévision de la qualité de l'air.

Par ailleurs, la collaboration entre le LSCE et l'INERIS initiée par ces travaux de recherche place le SIRTa comme une station de référence à l'échelle européenne, tant du point de vue de la recherche expérimentale que de la surveillance opérationnelle.

Cette collaboration sert de catalyseur aux échanges d'informations et de compétences entre ces deux communautés, et permet notamment d'assurer l'harmonisation des pratiques météorologiques.

Pour exemple, l'expertise technique développée au cours de ces dernières années a servi de base à l'introduction d'ACSM sur différents sites clés du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air.

Elle a également donné lieu à la création de l'Aerosol Chemical Monitor Calibration Centre (ACMCC), responsable de la calibration de l'ensemble des ACSM du programme européen ACTRIS.



Atmospheric pollutants in urban areas are complex by virtue of their chemical composition and the multitude of emission sources.

Nowadays, they represent various scientific, sanitary, political and societal challenges. INERIS is strongly involved in experimental research activities focused on these issues.

Through the set-up of a new research observation platform in the region of Paris, the main objective of this work is to identify and comprehensively characterize processes and sources favoring aerosol pollution formation, using advanced and robust real-time analyzers (such as the Aerosol Chemical Speciation Monitor). In collaboration with LCSE, a unique dataset has been acquired at SIRTa since June 2011.

Various statistical analyses already allowed for the refined assessment of the synergy between sources, chemical composition and geographical origins in the region of Paris.

These dataset is available to better constrain chemical transport models. Moreover the technical expertise developed here recently allowed for the implementation of ACSM within regional air quality monitoring networks, as well as the build-up of the European calibration centre for on-line aerosol chemical monitors.



PRINCIPAUX AXES D'ÉVOLUTION de la surveillance de la qualité de l'air

Les politiques actuelles de surveillance de la qualité de l'air sont essentiellement basées sur le respect de valeurs limites fixées pour différents polluants clés définies par les directives européennes¹, mesurés sur des sites fixes dont le nombre et la répartition spatiale sont définies par ces mêmes directives. Si cette stratégie est efficace pour les polluants présentant des concentrations homogènes sur une large échelle géographique (e.g., ozone), elle ne permet pas d'évaluer finement l'exposition des populations à des polluants à forte variabilité spatiale, tels que les oxydes d'azote ou les particules ultrafines. Par ailleurs, la réglementation actuelle n'inclut pas la surveillance de paramètres directement exploitables en termes d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique ou de sources d'émission. Ces

informations s'avèrent pourtant indispensables à l'élaboration de politiques publiques adéquates pour une meilleure maîtrise de la qualité de l'air.

Avec ses homologues européens, l'INERIS est impliqué dans le processus de révision des directives européennes et oriente certains de ses travaux vers l'optimisation de techniques de mesure et d'outils de simulation numériques innovants. Tel que présenté dans un article récemment paru dans la revue *Atmospheric Environment* [1], il semble par exemple nécessaire de développer des stratégies de surveillance permettant une meilleure couverture spatiale de la pollution urbaine, intégrant un réseau dense de micro-capteurs portables connectés et la modélisation de fine échelle. Concernant plus particulièrement les particules, l'émergence de méthodologies simples de

mesure en temps réel de leur potentiel oxydant laisse également entrevoir la possibilité d'une surveillance directe de leur degré de toxicité. Enfin, la surveillance de certains composés chimiques présents au sein de ces particules (cf. article *Compréhension des sources et des processus de formation de la pollution particulaire dans l'air ambiant* p. 48), couplée à l'utilisation d'outils statistiques et/ou numériques de plus en plus performants, s'avère essentielle à l'élaboration et l'évaluation de plans d'action efficaces.

¹e.g., Directive 2008/50/CE (www.ineris.fr/aيدا/consultation_document/863)

Référence

[1] Kuhlbusch et al., New directions: *The future of European urban air quality monitoring*, *Atmospheric Environment*, 87, 258-260, 2014.





ÉVALUATION DE MODÈLES (Q)SAR POUR LA PRÉDICTION DE LA GÉNOTOXICITÉ D'AMES: un exercice rétrospectif sur les substances chimiques enregistrées dans le cadre du règlement européen REACH

Certaines substances chimiques peuvent introduire des mutations dans le génome humain et provoquer des effets graves sur la santé tels que le cancer [1]. Pour ces raisons, la détection du potentiel mutagène des substances chimiques revêt une importance fondamentale dans le cadre du règlement européen REACH sur la toxicité des substances chimiques. Une des approches les plus utilisées pour l'identification de substances mutagènes est le test d'Ames [2]. Il permet d'évaluer les effets des substances chimiques sur l'expression des gènes pour la synthèse de l'histidine de plusieurs souches bactériennes de *S. typhimurium* et *E. coli*.

Le règlement REACH prévoit la possibilité d'utiliser les prédictions élaborées par des modèles (Q)SAR¹ afin de caractériser le potentiel de mutagenèse des substances chimiques. Cependant, et malgré la disponibilité de plusieurs outils (Q)SAR gratuits, les modèles (Q)SAR qui prédisent les effets de mutagenèse n'ont été utilisés que de façon exceptionnelle pour l'échéance du 30 novembre 2010 du règlement REACH [3].

L'objectif de ce travail était donc d'évaluer la performance prédictive des outils (Q)SAR

mis à disposition gratuitement sur internet, avec les substances qui ont été enregistrées pour cette échéance.

¹ Relations (quantitatives) entre structure moléculaire et activité biologique

Méthodes

Le [Tableau 1](#) présente les modèles (Q)SAR qui ont été analysés dans le cadre de ce travail. Le modèle « consensus-VEGA » (CNS-VEGA) intègre les prédictions des trois modèles de la plateforme VEGA selon le degré d'appartenance de la substance d'intérêt aux domaines d'applications de ces modèles. La performance prédictive des modèles a été estimée grâce à 4 indicateurs statistiques: concordance, sensibilité, spécificité (statistiques de Cooper) et coefficient de corrélation de Matthews (MCC). L'introduction du dernier indicateur a été nécessaire car les statistiques de Cooper se prêtent mal à la description de jeux de données déséquilibrés comme ceux analysés dans le cadre de ce travail (majorité de substances négatives). Le MCC varie entre -1 (désaccord complet entre toxicité expérimentale et prédite) et +1 (identité parfaite entre toxicité expérimentale et prédite). Tous ces indicateurs ont été calculés en fonction de substances

Notwithstanding the possibility of adopting (Q)SAR predictions for registration purposes, registrants providing information for the first REACH deadline (November 30, 2010) submitted (Q)SAR predictions only in an exceedingly small number of cases [3]. This observation prompted the interest of the project CALEIDOS that decided to provide a retrospective exercise on the reliability of freely available (Q)SAR models predicting Ames mutagenicity when applied to chemicals registered for this first deadline [8]. Our analysis showed that, with the only exception of one (Q)SAR tool (TEST), all the analyzed models were characterized by accuracies that were comparable to the experimental reliability of the Ames test. The best performance was displayed by the Benigni-Bossa rule-based system as implemented within the online VEGA platform (accuracy = 92 %, sensitivity = 83 %, specificity = 93 %, Matthews correlation coefficient = 0.68). The main conclusion is that our results support the accumulating evidence that the mechanistic relationship between electrophilicity and mutagenicity is properly described by existing (Q)SAR models.

Tableau 1
Modèles (Q)SAR analysés lors de l'exercice d'évaluation

Logiciel	Nom du modèle	Acronyme	Typologie
T.E.S.T. v4.1	Ames mutagenicity	T.E.S.T. MUTA	QSAR
TOXTREE v2.6.0	In vitro mutagenicity (Ames test) alerts by ISS	TTIDEA	SAR
VEGA v1.0.8	Mutagenicity model (CAESAR) v.2.1.12	CAESAR	QSAR
VEGA v1.0.8	Mutagenicity SarPy model v1.0.6-DEV	SARPY	QSAR
VEGA v1.0.8	Benigni-Bossa Mutagenicity (TOXTREE) v1.0.1-DEV	TTVEGA	SAR
VEGA v1.0.8	Consensus-VEGA	CNS-VEGA	QSAR/SAR





dont les données toxicologiques satisfaisaient plusieurs critères de qualité (ex. conformité avec la ligne directrice 471 de l'OCDE).

Lorsqu'on caractérise la performance prédictive d'un modèle (Q)SAR il est important de la comparer avec la reproductibilité des données expérimentales qui ont été utilisées pour le calibrer. La reproductibilité inter-laboratoire du test d'Ames est estimée à 85-90 % [4; 5] et ce pourcentage représente la limite supérieure de fiabilité qu'il est raisonnable de pouvoir obtenir en fonction d'une application systématique d'outils QSAR.

➤ Résultats

La [Figure 1](#) décrit une validation « externe » des modèles (Q)SAR retenus pour l'exercice. L'adjectif « externe » indique que les molécules dont la toxicité a été prédite par les modèles satisfont deux conditions: a) elles rentrent dans les domaines d'application des modèles et b) elles ne font pas partie des jeux d'apprentissage des modèles. Cette forme d'évaluation représente le critère de qualification le plus strict de la performance prédictive d'un modèle.

Nos résultats indiquent que le modèle individuel le plus performant est TTVEGA suivi par SARPY et CAESAR, caractérisés par des performances similaires. Un modèle « consensus », intégrant les prédictions de ces trois modèles, donne lieu à une performance prédictive améliorée aux dépens d'une réduction du domaine d'application ([Figure 1](#)).

La très bonne performance prédictive de TTVEGA peut être expliquée en fonction des 30 alertes structurelles sur lesquelles repose le modèle [6]. Ces alertes ont été sélectionnées après une analyse critique des données structure-génotoxicité disponibles dans la littérature.

➤ Conclusions

L'ensemble des résultats indique que les mécanismes de réactivité moléculaire qui déterminent la génotoxicité des substances chimiques sont bien pris en compte par plusieurs modèles (Q)SAR existants. Ces outils peuvent ainsi jouer un rôle important lors de prises de décisions sur la génotoxicité dans un contexte réglementaire. Il est intéressant d'observer que les statistiques de Cooper qui décrivent TTVEGA et CNS-VEGA sont comparables avec celles d'autres tests expérimentaux. Par exemple, un test réglementaire validé comme le test LLNA (essai de stimulation locale des ganglions lymphatiques) pour la sensibilisation cutanée est caractérisé par une sensibilité, une spécificité et une concordance égales à 72 %, 67 % et 72 % respectivement [7].

📖 Références

- [1] Alberts, B., et al. (2002) *The Preventable Causes of Cancer. Molecular Biology of the Cell*. Garland Science, New York.
- [2] Ames, B.N., McCann, J. and Yamasaki, E. (1975) *Methods for detecting carcinogens and mutagens with the Salmonella/mammalian-microsome*

mutagenicity test, *Mutat Res*, 31, 347-364.

[3] ECHA (2011) *The Use of Alternatives to Testing on Animals for the REACH Regulation*.

[4] Sushko, I., et al. (2010) *Applicability domains for classification problems: Benchmarking of distance to models for Ames mutagenicity set*, *J Chem Inf Model*, 50, 2094-2111.

[5] Sushko, I., et al. (2010) *Applicability domain for in silico models to achieve accuracy of experimental measurements*, *J. Chemometrics* 24, 202-208.

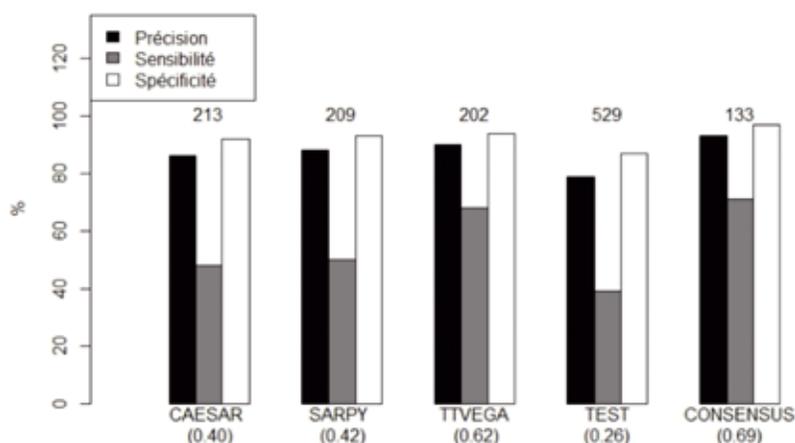
[6] Benigni, R., et al. (2008) *Benigni/Bossa rulebase for mutagenicity and carcinogenicity-A module of Toxtree*. JRC Scientific and Technical Reports.

[7] ICCVAM (1999) *The Murine Local Lymph Node Assay: A Test Method for Assessing the Allergic Contact Dermatitis Potential of Chemicals/Compounds. The Results of an Independent Peer Review Évaluation Coordinated by the Interagency Coordinating Committee on the Validation of Alternative Methods (ICCVAM) and the National Toxicology Program Center for the Évaluation of Alternative Toxicological Methods*.

[8] Cassano, A., et al. (2014) Évaluation of QSAR models for the prediction of ames genotoxicity: a retrospective exercise on the chemical substances registered under the EU REACH regulation, *Journal of environmental science and health. Part C, Environmental carcinogenesis & ecotoxicology reviews*, 32, 273-298.

Figure 1

Performance prédictive des modèles analysés en fonction de substances chimiques qui rentrent dans leurs domaines d'application mais qui ne font pas partie des jeux d'apprentissage respectifs. Le nombre entre parenthèses indique le coefficient de corrélation de Matthews. Le nombre sur les histogrammes indique le nombre de substances évaluées.



LES ACARIENS PRÉDATEURS: MODÈLE BIOLOGIQUE pour l'évaluation de l'écotoxicité des sols

Les acariens du sol jouent un rôle essentiel au sein des écosystèmes terrestres, en tant que consommateurs primaires mais également comme prédateurs. Bien que ces organismes soient inclus dans la démarche réglementaire d'évaluation des matières actives pesticides pour évaluer les effets sur les organismes non-cibles, ce taxon a été, jusqu'à présent, peu utilisé, pour caractériser l'écotoxicité des sols, des matrices complexes ainsi que le danger des substances chimiques autres que les pesticides. Parmi les acariens du sol, plusieurs espèces ont déjà été considérées pour la mesure des effets des pesticides (*Hypoaspis aculeifer*, *Platynothrus peltifer*, *Oppia nitens*) et se sont révélées sensibles à ces substances. Dans le cadre de la caractérisation de l'écotoxicité des déchets organiques valorisés

en agriculture, l'INERIS s'est intéressé à l'applicabilité de l'essai d'inhibition de la reproduction de l'acarien prédateur *H. aculeifer* à ces matrices et à l'évaluation de son intérêt par rapport aux organismes de la macrofaune (évitement et reproduction des vers de terre; reproduction des nématodes) et aux végétaux supérieurs (élongation racinaire; croissance des parties aériennes). Ces travaux ont également permis de réaliser une revue exhaustive de la sensibilité des acariens du sol par rapport aux organismes utilisés plus généralement pour caractériser l'écotoxicité des sols. Il ressort que *H. aculeifer* est relativement peu sensible aux éléments traces métalliques par rapport aux autres espèces, vraisemblablement du fait de la spécificité des voies d'exposition et d'élimination chez cet

organisme. Toutefois, malgré cette sensibilité moindre, les premiers résultats obtenus ont fait apparaître cette espèce comme complémentaire des plantes et des vers de terre. Cette revue bibliographique, réalisée en collaboration avec une équipe allemande reconnue dans le domaine de l'écotoxicité de sols, ne s'est pas limitée aux essais de laboratoire mais a également concerné les études de plus grande échelle (chaînes trophiques simplifiées; étude de terrain en conditions semi-contrôlées ou non).

Référence

HUGUIER, Pierre; MANIER, Nicolas; OWOJORI, Olugbenga john; BAUDA, Pascale; PANDARD, Pascal; RÖMBKE, Jörg *The use of soil mites in ecotoxicology: a review*. *Ecotoxicology*, 2015, 24 (1): p. 1-18

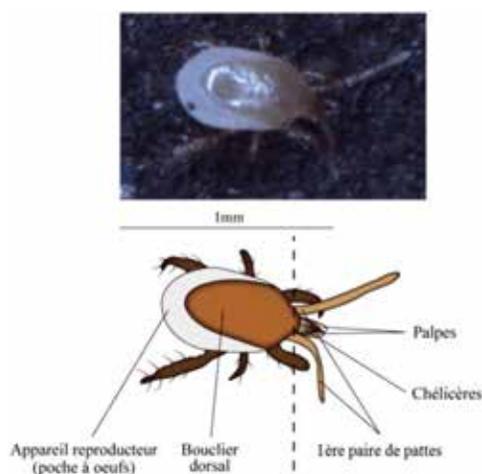
Figure 1

Hypoaspis aculeifer



Figure 2

Hypoaspis aculeifer (photo et illustration Pierre Huguier)





DÉVELOPPEMENT D'APPROCHES D'ÉVALUATION DES DANGERS (ÉCO)TOXICOLOGIQUES DE SUBSTANCES ÉMERGENTES ISSUES DE LA CHIMIE VERTE : les liquides ioniques.

Afin de réduire au maximum les risques induits par les produits chimiques pour la santé humaine et environnementale, la chimie verte serait une approche alternative performante et plus respectueuse de l'environnement. Depuis quelques années, les liquides ioniques, également appelés « solvants verts », constituent un domaine de recherche en plein essor lié à la malléabilité de leurs propriétés fonctionnelles. De plus, les liquides ioniques sont considérés comme faiblement volatiles (pas de diffusion dans l'atmosphère, risque d'exposition faible), non inflammables (réduction des risques d'accidents) et stables tout en offrant d'intéressantes opportunités comme milieu réactionnel pour une chimie plus propre. Ces produits chimiques sont constitués d'anions et de cations, complexés sous forme de sels, dont le point de fusion est inférieur ou égal à 100 °C. Ils font partis de la famille des sels fondus d'onium avec un cation

et un anion dont au moins l'un est organique. Ces substances sont de plus en plus utilisées dans le cadre de différentes applications stratégiques telles que la production d'énergie, la chimie du végétal ou encore la biocatalyse. Les propriétés physico-chimiques nécessaires aux différents procédés peuvent être atteintes du fait des nombreuses possibilités de formulation, conduisant ainsi à un marché en fort développement. Du fait d'une utilisation de plus en plus large, les liquides ioniques peuvent contribuer à la contamination de l'environnement via des rejets accidentels ou chroniques en lien notamment avec les procédés de fabrication. Force est toutefois de constater que peu de données sont disponibles sur les effets (éco)toxiques que peuvent induire ces molécules.

Méthode

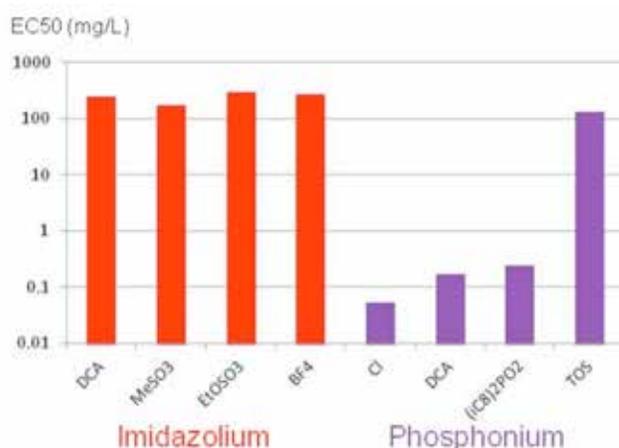
De récents travaux publiés dans la littérature scientifique se sont focalisés sur l'étude des risques

pour les écosystèmes aquatiques. Par exemple, après avoir montré des résultats en écotoxicologie de 10 liquides ioniques de type cholinium, Ventural et al [1] constatent le peu d'informations disponibles sur ces structures chimiques permettant d'expliquer les différences de toxicité entre la famille des choliniums et celle des imidazoliums. La mise en exergue de ces différences de capacité entre les familles de liquides ioniques suggère une possibilité de créer à façon un liquide ionique ayant les propriétés physico-chimiques recherchées tout en réduisant l'impact environnemental. Dans ce cadre, Cvjetko Bubalo et al. [2] ont effectué une brève revue sur les principales connaissances concernant l'effet des liquides ioniques en fonction de leurs applications. Ces auteurs proposent également les futures directions pour la création de liquides ioniques plus sûrs. C'est dans ce contexte que s'inscrivent les travaux menés par l'INERIS. Dans le cadre de cette thématique, une approche combinée entre

les tests réglementaires OCDE, et l'utilisation de biomarqueurs de type immunitaire, plus représentatifs d'un impact écosystémique, est proposée. De plus, sur les aspects liés à l'évaluation des impacts des activités de la chimie verte, cet axe d'étude est en forte synergie avec l'action « Sécurité des bioraffineries » de l'Institut. En raison du développement important du marché des liquides ioniques et au regard des résultats actuellement disponibles sur l'écotoxicité de ces molécules, il semble important de développer des outils et/ou approches d'évaluation des dangers spécifiques. D'autre part, il est également essentiel d'acquérir des connaissances fines sur les mécanismes d'action de ces molécules et les déterminants de leur (éco)toxicité. Le travail engagé à l'INERIS confronte les mesures réalisées au niveau physiologique avec les résultats de tests réglementaires afin d'initier une première estimation de l'écotoxicité de ces molécules émergentes. De plus,

Figure 1

Valeurs d' EC_{50} déterminées avec la norme OCDE 202 (test d'immobilisation de *D. magna*) pour chaque liquide ionique testé.





To reduce health and environmental risks of chemicals and to minimize the environmental footprint of human activities, green chemistry searches for alternative, environment-friendly reaction media and at the same time strives to increase reaction rates and milder reaction conditions. A growing area of research is devoted to ionic liquids often termed as “designer” solvents due to the extreme tunability of sought functional properties. However, these aspects have inadequately led many stakeholders to qualify ILs as ‘green solvents’. This qualification was stated without sufficient caution about versatility of ionic liquid chemical structures which could induce significant variation in risk profiles. Thus, the Institute proposed a potential industrial accompaniment to reduce ionic liquid harmfulness by a novel combination of OECD *Daphnia magna* standardized test and fish immunomarkers. The combination of these two tests allowed multicriteria examination of ILs impacts in different organisms and trophic levels. The work provided new data for legislation and opened a door towards an integrative environmental evaluation due to direct implications of immune system in fish and ecosystem health.

ce travail est intégré dans une thématique plus large visant à évaluer les impacts environnementaux liés au développement de la chimie verte et biosourcée (i. e. le programme OSIRIS financé par la fondation UTC pour l'innovation). Au cours des premières expérimentations, l'écotoxicité de deux familles de liquides ioniques, les imidazoliums et les phosphoniums, a été testée par l'intermédiaire de tests de toxicité (i. e. test d'immobilisation de *D. magna*, OECD 202) et d'un test permettant d'évaluer l'impact des substances sur la capacité de défense des organismes (i. e. effet ex vivo sur les capacités de défense de l'épinoche à trois épines).

Résultats

Les principaux résultats issus de cette première série d'expérimentation montrent, quels que soient le test utilisé et le niveau trophique d'intérêt, une séparation nette et similaire entre les deux familles de liquides ioniques en termes de toxicité et d'activité

biologique (Figure 1, Figure 2). L'impact majeur concernerait l'effet toxique en lien avec les propriétés lipophiles des liquides ioniques. Néanmoins, une plus forte toxicité est observée pour la famille des phosphoniums en comparaison avec les imidazoliums suggérant également un impact fort du type de cation et de la longueur de sa chaîne alkylée. Dans une moindre mesure, au sein d'une même famille de liquides ioniques, des effets biologiques variables sont observés en fonction du type d'anion. Des études récentes ont montré la dangerosité potentielle des liquides ioniques, d'un point de vue non seulement physico-chimique [3] mais également (éco)toxicologique [4], tout en mettant en avant l'influence des procédés de conception et de fabrication sur leur toxicité. Comme les propriétés des liquides ioniques peuvent être contrôlées à l'aide de combinaisons d'anions et de cations adaptés les uns aux autres avec des liquides aux

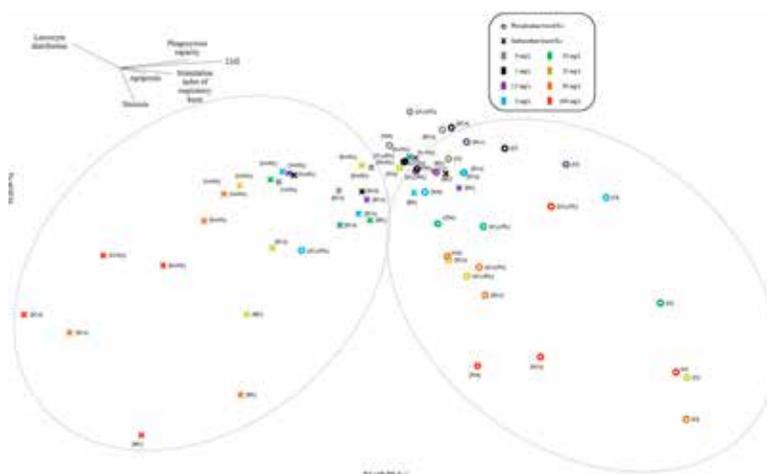
propriétés de polarité et de solubilité différentes, un screening affiné tout au long de la création du liquide ionique serait une stratégie envisageable pour un industriel en termes de gain de temps et de coût notamment d'un point de vue de l'évaluation. De plus, une consolidation d'une base de données expérimentale favoriserait le développement des outils de prédiction pour mettre en place une « sécurité par conception » des liquides ioniques en vue, sur le long terme, d'un enregistrement REACH. Pour conclure, les travaux menés dans le cadre de notre recherche institutionnelle visent globalement à accompagner la maîtrise des risques associés au développement du bioraffinage. Dans ce cadre, l'Institut se positionne en tant que pionnier dans l'évaluation des dangers des liquides ioniques, familles émergentes de produits chimiques dont la commercialisation a débuté dans les années 2000 et dont un brillant avenir est prévu avec décuplement du marché d'ici à l'horizon 2020.

Références

- [1] Ventura, S. P. M., F. A. e Silva, A. M. M. Gonçalves, J. L. Pereira, F. Gonçalves, and J. A. P. Coutinho. 2014. *Ecotoxicity analysis of cholinium-based ionic liquids to Vibrio fischeri marine bacteria*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 102:48-54.
- [2] Cvjetko Bubalo, M., K. Radošević, I. Radojčić Redovniković, J. Halambek, and V. Gaurina Srček. 2014. *A brief overview of the potential environmental hazards of ionic liquids*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 99:1-12.
- [3] Diallo, A. O., C. Len, A. B. Morgan, and G. Marlair. 2012. *Revisiting physico-chemical hazards of ionic liquids*. *Separation and Purification Technology* 97:228-234.
- [4] Bado-Nilles, A., A.-O. Diallo, G. Marlair, P. Pandard, L. Chabot, A. Geffard, C. Len, J.-M. Porcher, and W. Sanchez. 2015. *Coupling of OECD standardized test and immunomarkers to select the most environmentally benign ionic liquids option - towards an innovative « safety by design » approach*. *Journal of Hazardous Materials* 283: 202-210.

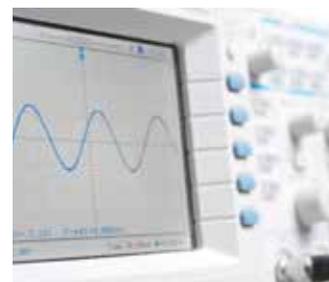
Figure 2

Analyse en composantes principales représentant la répartition des conditions en fonction des paramètres immunitaires testés chez l'épinoche à trois épines. Le centre de la figure concerne essentiellement les faibles concentrations en liquides ioniques testés.



ANNEXES

L'INERIS, partenaire de 40 programmes européens	57
Programmes de recherche soutenus par l'Agence nationale de la recherche - ANR	58
Autres programmes	58
Conseil scientifique	60
Commission d'orientation de la recherche et de l'expertise (CORE)	61
Commissions scientifiques	62
Sujets de thèse sélectionnés en 2015	63
Les indicateurs du contrat d'objectifs 2011/2015	63
Publications	64



L'INERIS, PARTENAIRE DE 40 PROGRAMMES EUROPÉENS (EN COURS AU 10 SEPTEMBRE 2015)

MARINA	Managing Risks of nano materials
I2MINE	Innovative Technologies and Concepts for the Intelligent Deep Mine of the Future
OCTAVIUS	Optimisation of CO ₂ capture technology allowing verification and implementation at utility scale
EDA-EMERGE	Novel tools in effect directed analysis to support the identification and monitoring of emerging toxicants on a european scale
MODENA	Modelling Nanomaterial Toxicity
HELIX	The Human Early-Life Exposome - Novel tools for integrating early-life environmental exposures and child health across Europe
ASCENT	Advanced solid cycles with efficient novel technologies
SOLUTIONS	Solution for present and future emerging pollutants in land and water resources management
CascEff	Modelling of dependencies and cascading effects for emergency management in crisis situations
BASIS	Blast actions on structures in steel
4FUN	The future of fully integrated human exposure assessment of chemicals: ensuring the long-term viability and technology transfer of the EU-Funded 2-FUN tools as standardised solution
CO ₂ QUEST	Impact of the quality of CO ₂ on transport and storage behaviour
NECOBAUT	Innovative automobile electrochemical storage applications based on nanotechnology
TOSCA	Total safety management for industrial organisations
NANOREG + NANOREG II	A common European approach to the regulatory testing of nanomaterials
FIRECOMP	Modelling the thermo-mechanical behaviour of high pressure vessels, made of composite materials when exposed to fire conditions
NANOMILE	Engineered nanomaterials mechanisms of interaction with living systems and the environment: a universal framework for safe nanotechnology
EDEN	End-user driven DEmo for cbrNE
MARSITE	New direction in seismic hazard assessment through focused Earth observation in the marmara supersite
EXPRO	Prediction and mitigation of methane explosion effects for improved protection of mine infrastructure and critical equipment
MANAGER	Mine water treatment
COGAR	Underground Coal Gasification in operating mine and areas of high vulnerability
CRITICAL LOADS	Prise en compte des dernières connaissances scientifiques dans le calcul d'un indicateur de l'impact de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes et le bâti, indicateur appelé «charge critique».
MACC3	Monitoring Atmospheric Composition and Climate
HELIS II	High energy lithium sulphur cells and batteries
NANOFASE	Accumulation and fate of engineered nanomaterials in fishes
EUROMIX	Assessing the health risks of combined human exposure to multiple food-related toxic substances
IMPROVER	Developing European Resilience Management Guideline and demonstrating it through pilot implementation
SLOPES	Smarter lignite open engineering solutions

STAMS	Long-term stability assessment and monitoring of flooded shafts
ETC/ACM 2015	European Topic Centre on Air pollution and Climate change mitigation
HUGS	Humins as green and sustainable precursors of eco-friendly building blocks and materials
EPOS	European plate observing system
GASDRAIN	Development of improved methane drainage technologies by stimulating coal seams for major risks prevention and increased coal output
HEROIC	Health and environmental risks: organisation, integration and cross-fertilisation of scientific knowledge
COSMOS	Integrated in silico models for the prediction of human repeated dose toxicity of cosmetics to optimise safety
STEMBANCC	Stem cells for biological assays of novel drugs and predictive toxicology
SAPHEDRA	Plate-forme européenne d'évaluation des modèles de prédiction des effets des phénomènes dangereux générés par de nouveaux matériaux, procédés ou technologies
HAZPRED	Utilisation de méthodes prédictives pour déterminer les propriétés de décomposition des substances

PROGRAMMES DE RECHERCHE soutenus par l'Agence nationale de la recherche - ANR

2011

SEED - DEMETER	Démonstration de la faisabilité technique et économique d'une boucle de stockage/déstockage d'électricité renouvelable sur méthane de synthèse au moyen d'un électrolyseur à haute température réversible
POLYSAFE	Conduite en sécurité des réacteurs-échangeurs intensifiés continus en milieu polyphasique

2012

PROOFS	Effets de ligands environnementaux du récepteur de la progestérone sur la reproduction du poisson
PROLONGE	Propagation lointaine des ondes de grande énergie
PHYTOCHEM	Développement de procédés chimiques éco-innovants pour valoriser les biomasses issues de phytotechnologies

2014

PREGO	Préfiguration géothermiques des ouvrages profonds
-------	---

AUTRES PROGRAMMES financements sur fonds publics

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

PRIMEQUAL - ECOSTOX	Construction de valeurs toxicologiques de référence pour des expositions multiples
ECORBIO	Approche enzymatique des mécanismes de corrosion d'aciers inoxydables
AO SAFERA - STARS	Socio technical safety assessment within risk regulation regimes
ANIMATION PRIMEQUAL EIAI	Environnements intérieurs et approches innovantes

Conseil régional de Picardie

DEMOSTHEN — Démonstrateur de stockage saisonnier d'énergie thermique en carrière souterraine partiellement ennoyée

ADEME

EN-PME-TEST	Common European method for the determination of particulate matter emissions of solid fuel burning appliances and boilers
PHYTOSED	Efficacité et pérennité de la phytostabilisation aidée sur un sédiment excavé contaminé par les éléments traces
PHYTOAGGLO	Intégration des phytotechnologies de gestion et de traitement des sols pollués dans un projet de renouvellement urbain de la Communauté d'agglomération creilloise
PHYTOSED ÉCHELLE 1	Parcelle expérimentale de grande taille
EMNR	Émissions des moteurs de tondeuses et autres engins de jardinage
AMI HYDROGENE GRHYD	Gestion des réseaux par l'injection d'hydrogène pour décarboner les énergies
AMI CYCLADE	Recyclage des batteries pour véhicules électriques
CORTEA 2011	Émissions matériaux
RSEIN 2012-2015	Recherche santé-environnement intérieur
CORTEA - IDENTECH	Identification des technologies existantes permettant de réduire les émissions polluantes des foyers
CORTEA - AFAC	Actualisation des facteurs d'émission des polluants des foyers domestiques alimentés au bois
CORTEA - EMICER	Mesure et contrôle des émissions de poussières lors de la manutention et du séchage des céréales
CIDE - 4ÉCOS	Évaluation des émissions des expositions et des risques sanitaires liés à l'activité d'un écosite
DOSTE - VALTRI-OR	Évaluation du tri optique de la matière organique
GESIPOL - TROPHÉ	Transfert et risques des organiques persistants pour l'homme et les écosystèmes
GESIPOL - MEMOTRACES	Compréhension des mécanismes de mobilisation et de transfert de CAP oxygénés dans les eaux souterraines et les sols
CORTEA - CARABLACK	Caractérisation de sources de combustion vis-à-vis du black carbon et de la granulométrie des poussières
DEMOPHYTO	Comparaison de deux modalités de phytostabilisation aidée testées sur un terrain de dépôt de sédiment
CARVE + CARVE 2	Campagne de mesure de particules à l'émission des foyers domestiques alimentés au bois dans la vallée de l'Arve
TEMPAIR	Mesures de gaz pour l'évaluation de la qualité de l'air en intérieur de bâtiments
GESIPOL - CAPQAI	Développement d'outils et de méthodes pour améliorer la caractérisation des transferts de polluants du sol vers l'air intérieur et la prédiction des expositions potentielles dans des environnements intérieurs
SOURCES	État des lieux sur les connaissances apportées par les études expérimentales des sources de particules fines en France
VALORISATION DE L'ÉTUDE COMRISK	
CORTEA 2015 - PEPS	Impact des produits d'entretien sur la qualité de l'air intérieur: définition d'un protocole d'essai harmonisé pour l'évaluation sanitaire
CORTEA 2015 QABINE	Qualité de l'air habitacle
CORTEA 2015 QAI ARVE	Impact du chauffage au bois sur la qualité de l'air intérieur
CORTEA 2015 NANO IDENT	Nanoparticules en milieu industriel
PHYTOSED	Efficacité et pérennité de la phytostabilisation aidée sur un sédiment excavé contaminé par les éléments traces
PASSOLAIR	Capteurs passifs pour l'air du sol
EN-PME-TEST	Common European method for the determination of particulate matter emissions of solid fuel burning appliances and boilers

CONSEIL SCIENTIFIQUE

liste des membres, à compter de décembre 2013

Présidente

Corinne GENDRON,

Avocate, MBA, Ph.D.

Titulaire, Chaire de responsabilité sociale et de développement durable

École des sciences de la gestion

Chaire de responsabilité sociale et de développement durable

Université du Québec à Montréal

Vice-Président

M. Philippe FREYSSINET

Directeur scientifique énergie et environnement

Qatar National Research Fund

Membres

Philippe CHALMIN

Responsable du Master

« Affaires internationales »

Université Paris-Dauphine

Isabelle MOMAS

Professeur

Université Paris-Descartes

Faculté de Pharmacie

Michel SARDIN

Professeur à l'ENSIC,

Université de Lorraine

Membre du Laboratoire réactions et génie des procédés - UMR 7274 CNRS-

Université de Lorraine

Directeur de l'Institut Carnot Énergie et Environnement en Lorraine

Michel De LARA

Professeur - CERMICS, Université Paris-Est

École des Ponts Paris-Tech

Régis REAU

Directeur Scientifique Senior,

Air Liquide

Invités permanents du Conseil

Nadine Gabas

Présidente de la commission des risques accidentels

Jacques Pironon

Président de la commission des risques du sol et du sous-sol

Rémy Maximilien

Président de la commission des risques chroniques

COMMISSION D'ORIENTATION DE LA RECHERCHE ET DE L'EXPERTISE (CORE)

mandat 2015/2017

Personnalités qualifiées de l'enseignement supérieur ou de la recherche

Maurice LEROY *Professeur émérite Université de Strasbourg CNE2*

Brice LAURENT *Chargé de recherche CSI Mines ParisTech*

Collège Industriels

Jean-Charles BOUTONNET *Chef du Département Toxicologie et Environnement ARKEMA*

Henri MOLLERON *Directeur Environnement COLAS (vice-président)*

Frédéric PERIE *Responsable développement durable et environnement TOTAL SA*

Sylvaine RONGA-PEZERET, *médecin toxicologue, SEM-EDF*

Collège Associations

Solène DEMONET, *coordinatrice du réseau Risques industriels, France Nature Environnement (FNE)*

Francis GLEMET *Porte-parole Coordination nationale médicale Santé Environnement (CNMSE)*

Jean-Yves LEBER *Porte-parole Écologie sans Frontière (ESF)*

Vincent PERROT *Animateur du secteur santé Consommation, logement, cadre de vie (CLCV)*

Collège Syndicats

Gérald HAYOTTE *CFDT (président)*

Michel PETITOT *CFE-CGC*

Pierre LAROCHE *CGT*

Collège Élus

Michel GUILLOUX *Adjoint au maire Mairie de Feyzin*

René DROUIN *Maire Mairie de Moyeuivre-Grande*

Laurence VICHNIEVSKY *Conseillère régionale PACA*

Collège État

Cédric BOURILLET *Chef du service de la prévention des nuisances et de la qualité de l'environnement Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie*

Philippe COURTIER *Chef du service de la recherche (représenté par M. Lionel MOULIN, chef de la mission environnement, risques et santé) Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie*

COMMISSIONS SCIENTIFIQUES

RISQUES DU SOL ET DU SOUS-SOL

PIRONON Jacques

Président

Directeur UMR Géoresources
N° 7359 - Directeur de
recherche CNRS
Université de Lorraine

RAJOT Jean-Pierre

Vice Président

Chef du Groupe Conception
et Calcul des ouvrages -
Département Géotechnique,
Environnement, Risques
naturels et Sciences de la Terre
- IFSTTAR

BERNARD Pascal

Physicien - Sismologue
Institut de physique du globe
de Paris

CHARLIER Robert

Département ArGenCo
Université de Liège

CUCHE Hervé - SOLVAY

DEVEZE Guilhem

Chef Division Géologie-
Géotechnique EDF

DUVAL Anne-Marie - CEREMA

GOETZ Damien

Directeur adjoint recherche
Mines Paris-Tech

GUYON Albin

Inspection générale des
Carrières - Mairie de Paris

JACQUARD Catherine

Directrice technique
FONDASOL

KALAYDJIAN François

Directeur adjoint du Centre
de résultat ressources - IFP
Énergies nouvelles

MERRIEN SOUKATCHOF Véronique
CNAM

MUDRY Jacques

PLAS Frédéric

Directeur de recherche et
développement - ANDRA

VIDAL-GILBERT Sandrine

R&D- Unconventional Gas
Resources project - Total
Exploration Production

RISQUES CHRONIQUES

MAXIMILIEN Remy

Président

Direction des sciences du
vivant - CEA

PEUCH Vincent-Henri

Vice-Président

Coordinateur du pro-
jet européen MACC-II -
Responsable de la Division
Chimie atmosphérique
Centre européen pour les
prévisions météorologiques
à moyen terme

BAEZA Armelle

Professeur - UFR Sciences
du vivant - Laboratoire de
réponses moléculaires et
cellulaires xénobiotiques -
Université Paris-VII - Diderot

CAQUET Thierry

Écologie et santé des
écosystèmes - UMR INRA -
Agrocampus ESE - INRA

CELLIER Pierre

Directeur de recherche - UMR
Environnement et Grandes
Cultures - INRA

FAVRE George

Chargé de programmes R&D
- Direction de la recherche
scientifique et technologique
- LNE

GARRIC Jeanne

Directeur de recherche - Centre
de Lyon-Villeurbanne - IRSTEA

GENSDARMES François

Chef du Laboratoire de
physique et de métrologie
des aérosols - IRSN

GISLETTE Philippe

Directeur du CIRSEE - SUEZ
Environnement

LAMBOLEZ-MICHEL Lucie

Département du support scien-
tifique - Direction des centres
de recherche - VEOLIA

LEFRANC Agnès - INVS

MINIER Christophe

Directeur adjoint à l'action scien-
tifique et technique - ONEMA

PETERS Francis - MICHELIN

ROBINEAU Pascale

Directrice des produits régle-
mentés - Direction du végétal
et de l'environnement ANSES

ROSE Jérôme

Université de Marseille -
CEREGE UMR 7330 CNRS

ZMIROU Denis

Directeur du département
Santé-Environnement-Travail
- EHESP

RISQUES ACCIDENTELS

GABAS Nadine

Présidente

Professeur des universités
École nationale supérieure des
ingénieurs en arts chimiques
et technologiques

LECHAUDEL Jean-François

Vice-Président

Coordinateur risques techno-
logiques groupe - Direction
sécurité industrielle - TOTAL SA

BATTIN LECLERC Frédéric

Directrice de recherche -
Laboratoire réactions et génie
des procédés - CNRS-ENSIC

CHOJNACKI Eric - IRSN

JOUBERT Laurent

Professeur - Université de Rouen

LARRAURI Didier

Chef de Département -
Département management des
risques industriels - EDF R&D

MEYER Thierry

Maître d'enseignement et de
recherche - Groupe de sécurité
chimique et physique - École
polytechnique fédérale de
Lausanne (EPFL)

MIGAULT Guy

Corporate Process Manager
- SOLVAY

PAUSS André

Professeur - Département
génie des procédés industriels
- Université de Technologie de
Compiègne

TSOUKIAS Alexis

Directeur de recherche -
LAMSADE - UMR CNRS 7024
Université Paris-Dauphine

VALOT Claude

DEDALE

WALTER Serge

Laboratoire Propre intégré -
Groupe sécurité et écologies
chimiques - Université de
Haute-Alsace

ZAREA Murès

Expert sécurité industrielle
- Direction Recherche &
Technologie - GDF SUEZ

SUJETS DE THÈSE SELECTIONNÉS EN 2015

RISQUES CHRONIQUES

Comparaison de deux modalités de phytostabilisation aidée couplée à une valorisation biomasse testées sur un terrain de dépôt de sédiment.

Évolution de la composition chimique de l'atmosphère au-dessus du bassin méditerranéen: forçages, mécanismes et scénarios.

Pertinence écologique des biomarqueurs d'immunotoxicité en surveillance environnementale.

Reconstruction de scénarios d'exposition pour des mélanges de substances chimiques ayant des métabolites communs: application à la famille des pyréthriinoïdes.

Développement des modèles toxicocinétiques pour des substances chimiques seules ou en mélange pour l'évaluation du risque environnemental.

MAOCSA = Multi-site Aérosol Online Characterization and Source Apportionment.

RISQUES DU SOL ET DU SOUS-SOL

Développement d'un outil de prédiction de la sismicité synthétique.

Amélioration des outils de prévision du risque sismique dans les exploitations minières profondes.

Analyses expérimentale et numérique de la problématique multi-physique des fontis au voisinage d'un ouvrage hydraulique linéaire en terre.

Prédiction et mitigation de l'aléa fontis et de son impact à l'aide de la modélisation analytique, physique et numérique.

LES INDICATEURS DU CONTRAT D'OBJECTIFS 2011/2015

	2013	2014	
	Réalisé	Cible	Réalisé
Part de l'activité de l'Institut consacrée à la recherche	19,6 %	> 20 %	20,3 %
Part des financements sur appels à projets de recherche dans les ressources publiques de la recherche (dont part des financements européens)	33,2 %	> 35 %	32,8 %
Nombre de titulaires d'une HDR	17	> 12	15
Nombre de publications dans des revues à comité de lecture référencées ISI	92	> 85	105
Part des contrats passés avec les industriels dans les ressources totales de la recherche	14,4 %	15 %	13 %
Nombre de doctorants	45	Sans cible	46
Nombre de démonstrateurs où l'INERIS intervient	5	5	7

PUBLICATIONS

RISQUES DU SOL ET DU SOUS-SOL

2014

NGHIEM, Luyen; AL HEIB, Marwan; EMERIAULT, Fabrice

Physical model for damage prediction in structures due to underground excavations

DING, Wenqi; ZHANG, Lianyang; LI, Xiaojun; ZHANG, Xiong - Proceedings of the 2014 GeoShanghai International congress. Reston: ASCE, 2014, p. 155-164 (Geotechnical special publication, 242)

KLEIN, Emmanuelle; OCCHIENA, Cristina; DURENNE, Alicia; GUENIFFEY, Yves; PIRULLI, Marina

Early warning systems and time series modelling: A new challenge for landslide risk prevention

SASSA, Kyoji; CANUTI, Paolo; YIN, Yueping - Landslide science for a safer geoenvironment. Vol.1: The International Programme on Landslides (IPL). NC: Springer, 2014, p. 325-331

BARHOUM, Sarah; VALDES-LAO, Danièle; GUERIN, Roger; MARLIN, C.; VITALE, Q.; BENMAMAR, J.; GOMBERT, Philippe

Spatial heterogeneity of high-resolution Chalk groundwater geochemistry - Underground quarry at Saint Martin-le-Noeud, France

Journal of Hydrology, 2014, 519: p. 756-768

SOULEY, Mountaka; LOPEZ, Philippe; BOULON, Marc; THORAVAL, Alain

Experimental hydromechanical characterization and numerical modelling of a fractured and porous sandstone

Rock Mechanics and Rock Engineering, 2014

NGHIEM, Luyen; EMERIAULT, Fabrice; AL HEIB, Marwan

Assessment of damage induced in masonry structures by soil subsidence using physical modelling

LOURENCO, P.B.; HASELTINE, B.A.; VASCONCELOS, G. - Proceedings of the 9th International Masonry Conference. Guimaraes: Universidade do Minho, 2014

POULARD, Frédéric

Les nouvelles technologies au service du dimensionnement d'exploitations souterraines Mines & Carrières, 2014 (212): p. 68-72

NADIM, Charles-Edouard; BENNANI, Mustapha; GOHN, A.; DOMINIQUE, Pascal

Retours d'expérience sur un affaissement minier et sur l'effondrement d'une cavité Mines & Carrières, 2014 (216): p. 39-46

WATELET, Jean-Marc; DAUPLY, Xavier

La prévention des mouvements de terrain liés à la présence de cavités souterraines: évaluation qualitative de l'état de dégradation

Géologues, 2014, 182: p. 70-74

EDJOSSAN-SOSSOU, Abila-Mimi; DECK, Olivier; AL HEIB, Marwan; VERDEL, Thierry

A decision-supporting methodology for assessing the sustainability of natural risk management strategies in urban areas

Natural Hazards and Earth System Sciences, 2014, 14: p. 3207-3230

RHENALS GARRIDO, David Ricardo

Transport de gaz réactif au travers de roches argileuses et impact sur les propriétés des roches de couverture

Thèse de doctorat. École nationale d'ingénieurs de Saint-Etienne, 21/10/2014

2015

NGHIEM, Luyen; AL HEIB, Marwan; EMERIAULT, Fabrice

Method based on digital image correlation for damage assessment in masonry structures

Engineering Structures, 2015, 86: p. 1-15

SAEIDI, Ali; DECK, Olivier; AL HEIB, Marwan; VERDEL, Thierry

Development of a damage simulator for the probabilistic assessment of building vulnerability in subsidence areas

International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2015, 73: p. 42-53

AL HEIB, Marwan; DUVAL, Christophe; THEOLEYRE, Fiona; WATELET, Jean-Marc; GOMBERT, Philippe

Analysis of the historical collapse of an abandoned underground chalk mine in 1961 in Clamart (Paris, France)

Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2015

KINSCHER, Jannes; BERNARD, Pascal; CONTRUCCI, Isabelle; MANGENEY, Anne; PIGUET, Jack-Pierre; BIGARRE, Pascal

Location of microseismic swarms induced by salt solution mining

Geophysical Journal International, 2015, 200 (1): p. 337-362

BARATE, Pascal; MIRVAUX, Pascale; CASTANIER, Gilbert; BACHELARD-RAHUEL, Michel; BEN SLIMANE, Karim; BERNHARD, Sylvain; BERTIN, Emmanuelle; CAMACHO, Nicolas; DECHAUX, Eric; DOREMUS, Pascal; LADET, Vincent; LAGNY, Candice; MICHEL, Marie Christine; SERGI, Pascal; VAUZELLE, Yves

Guide pratique pour la gestion du risque radon dans la conception et la réalisation de travaux en souterrain. Recommandation de l'AFTES n° GT42R1F1

Tunnels et Espace souterrain, 2014 (246): p. 482-501

OCCHIENA, Cristina; **NADIM, Charles-Edouard**; ASTOLFI, Arianna; PUGLISI, Giuseppina Emma; SHTREPI, Louena; **BOUFFIER, Christian**; PIRULLI, Marina; DE ROSNY, Julien; **BIGARRE, Pascal**; SCAVIA, Claudio

Acoustic monitoring of underground instabilities in an old limestone quarry

LOLLINO, Giorgio; GIORDAN, Daniele; THURO, Kurosh; CARRANZA-TORES, Carlos; WU, Faquan; MARINOS, Paul; DELGADO, Sergio - Engineering Geology for Society and Territory - Volume 6. Applied Geology for Major Engineering Projects. Dordrecht : Springer, 2015, p. 689-693

BASMAJI, Bakri; DECK, Olivier; **AL HEIB, Marwan**

Modélisation analytique des phénomènes d'interaction sol-structure

Annales du Bâtiment et des Travaux publics, 2014 (6): p. 33-37

LUO, Haishan; **LAOUAFA, Farid**; DEBENEST, Gérald; QUINTARD, Michel

Large scale cavity dissolution: From the physical problem to its numerical solution

European Journal of Mechanics - B/Fluids, 2015, 52: p. 131-146

RISQUES CHRONIQUES

2014

BELIS, Claudio A.; LARSEN, Bo R.; AMATO, Fulvio; EL HADDAD, Imad; **FAVEZ, Olivier**; HARRISON, Roy M.; HOPKE, Philip K.; NAVA, Silvia; PAATERO, Pentti; PREVOT, André; QUASS, Ulrich; VECCHI, Roberta; VIANA, Mar

European guide on air pollution source apportionment with receptor models

Luxembourg: European Union, 2014 (JRC reference reports, EUR 26080 EN)

SAXENA, A.K.; DEVILLERS, James; **PERY, Alexandre**; **BEAUDOUIN, Rémy**; BALARAMNAVAR, V.M.; AHMED, S.

Modelling the binding affinity of steroids to zebrafish sex hormone-binding globulin

SAR and QSAR in Environmental Research, 2014, 25 (5): p. 407-421

SOLAZZO, Efisio; BIANCONI, Roberto; PIROVANO, Guido; MORAN, Michael D.; VAUTARD, Robert; HOGREFE, Christian; APPEL, K. WYAT; MATTHIAS, Volker; GROSSI, Paola;

BESSAGNET, Bertrand; BRANDT, Jorgen; CHEMEL, Charles; CHRISTENSEN, Jesper H.; FORKEL, Renate; FRANCIS, Xavier V.; HANSEN, Ayoe B.; MCKEEN, S.; NOPMONGCOL, Uarporn; PRANK, Marje; SARTELET, Karine; SEGERS, A.; SILVER, Jeremy D.; YARWOOD, Greg; WERHAHN, Johannes; ZHANG, J.; RAO, S. Trivikrama; GALMARINI, Stefano

Evaluating the capability of regional-scale air quality models to capture the vertical distribution of pollutants

Geoscientific Model Development, 2013, 6 (3): p. 791-818

ZHANG, Q.; BEEKMANN, Matthias; DREWNICK, F.; FREUTEL, F.; SCHNEIDER, Jürgen; CRIPPA, M.; PREVOT, André S.H.; BALTENSPERGER, U.; POULAIN, L.; WIEDENSOHLER, A.; SCIARE, Jean; GROS, Valérie; BORBON, Agnès; COLOMB, A.; MICHOU, V.; DOUSSIN, Jean-François; DENIER VAN DER GON, Hugo; HAEFFELIN, Martial;

DUPONT, J.-C. ; SIOUR, Guillaume; PETETIN, H. ; **BESSAGNET, Bertrand**; PANDIS, S.N.; HODZIC, Alma; SANCHEZ, Olivier; HONORE, Cécile; PERRUSSEL, Olivier

Formation of organic aerosol in the Paris region during the MEGAPOLI summer campaign: evaluation of the volatility-basis-set approach within the CHIMERE model

Atmospheric Chemistry and Physics, 2013, 13 (11): p. 5767-5790

VIANA, Mar; HAMMINGH, Pieter; **COLETTE, Augustin**; QUEROL, Xavier; DEGRAEUWE, Bart; DE VLIJGER, Ina; VAN AARDENNE, John

Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe

Atmospheric Environment, 2014, 90: p. 96-105

BERTON, Thierry; MAYHOUB, Flora; CHARDON, Karen; DUCA, Radu-Corneliu; **LESTREMAU, François**; BACH, Véronique; **TACK, Karine**

Development of an analytical strategy based on LC-MS/MS for the measurement of

different classes of pesticides and their metabolites in meconium: Application and characterisation of foetal exposure in France

Environmental Research, 2014, 132: p. 311-320

TOURNEUX, Pierre; MAYHOUB, Flora; HARAUX, E.; DEGUINES, C. ; BERTON, Thierry; **LESTREMAU, François**; GONDRY, J.; BACH, Véronique; CHARDON, Karen

Cohorte MecosExpo: utilisation du méconium pour estimer l'exposition in utero aux pesticides des nouveau-nés en Picardie

Revue de médecine périnatale, 2014, 6 (2): p. 122-133

KRYSTEK, Petra; TENTSCHERT, Jutta; NIA, Yacine; **TROUILLER, Bénédict**; NOEL, Laurent; GOETZ, Mario E.; **PAPIN, Arnaud**; LUCH, Andreas; GUERIN, Thierry; DE JONG, Wim H.

Method development and inter-laboratory comparison about the determination of titanium from titanium dioxide nanoparticles in tissues by inductively coupled plasma mass spectrometry

Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2014, 406 (16): p. 3853-3861

KUHLBUSCH, Thomas A.J.; QUINCEY, Paul; FULLER, Gary, W.; KELLY, Frank; MUDWAY, Ian; VIANA, Mar; QUEROL, Xavier; ALASTUEY, Andres; KATSOUYANNI, Klea; WEIJERS, Ernie; BOROWIAK Annette; GEHRIG, Robert; HUEGLIN, Christoph; BRUCKMANN, Peter; **FAVEZ, Olivier**; SCIARE, Jean; HOFFMANN, Barbara; ESPENYTTTRI, Karl; TORSETH, Kjetil; SAGER, Uta; ASBACH, Christof; QUASS, Ulrich

New Directions: The future of European urban air quality monitoring

Atmospheric Environment, 2014, 87: p. 258-260

HENNEBERT, Pierre; LAMBERT, S.; **FOUILLEN, Fabien**; **CHARRASSE, Benoit**

Assessing the environmental impact of shredded tires as embankment fill material

Canadian Geotechnical Journal, 2014, 51 (5): p. 469-478

LE BIHAN, Olivier; MORGENEYER, Martin; **SHANDILYA, Neeraj**; **AGUERRE-CHARIOL, Olivier**; **BRESSOT, Christophe**

Emission chambers, a method for nanosafety

VOGEL, Ulla; SAVOLAINEN, Kai; WU, Qinglan; VAN TONGEREN, Martie; BROUWER, Derk; BERGES, Markus - Handbook of Nanosafety: Measurement, Exposure and Toxicology. London: Academic Press, Elsevier, 2014, p. NC

MERAD, Myriam; WILBANKS, T.J.; HALFAOUI, Lotfi; MARCOMINI, A.; JOHN, C.S.T.; TKACHUK, A.

Integrated perspectives on sustainable infrastructures for cities and military installations

LINKOV, I. - Sustainable cities and military installations. Dordrecht: Springer, 2014, p. 301-328 (NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security)

CHIAPPINI, Laura; VERLHAC, Stéphane; **AUJAY, Robin**; MAENHAUT, W.; PUTAUD, J.-P.; SCIARE, Jean; JAFFREZO, Jean-Luc; LIOUSSE, Catherine; GALY-LACAUX, C.; ALLEMAN, L.Y.; PANTELIADIS, P.; **LEOZ-GARZIANDIA, Eva**; **FAVEZ, Olivier**

Clues for a standardised thermal-optical protocol for the assessment of organic and elemental carbon within ambient air particulate matter

Atmospheric Measurement Techniques, 2014, 7: p. 1649-1661

DUTOUQUET, Christophe; GALLOU, Guillaume; **LE BIHAN, Olivier**; SIRVEN, J.-B.; DERMIGNY, Adrien; TORRALBA, B.; **FREJAFON, Emeric**

Monitoring of heavy metal particle emission in the exhaust duct of a foundry using LIBS

Talanta, 2014, 127: p. 75-81

MEYER-MONATH, Marie; BEAUMONT, Jérôme; MOREL, Isabelle; ROUGET, Florence; **TACK, Karine**; **LESTREMAU, François**

Analysis of BTEX and chlorinated solvents in meconium by headspace-solid-phase microextraction gas chromatography coupled with mass spectrometry

Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2014, 406 (18): p. 4481-4490

BOURRACHOT, Stéphanie; **BRION, François**; PEREIRA, Sandrine; FLORIANI, Magali; CAMILLERI, Virginie; CAVALIE, Isabelle; PALLUEL, Olivier; ADAM-GUILLERMIN, Christelle

Effects of depleted uranium on the reproductive success and F1 generation survival of zebrafish (Danio rerio)

Aquatic Toxicology, 2014, 154: p. 1-11

FETTER, Eva; KRAUSS, Martin; **BRION, François**; KAH, Olivier; SCHOLZ, Stefan; BRACK, Werner

Effect-directed analysis for estrogenic compounds in a fluvial sediment sample using transgenic cyp19a1b-GFP zebrafish embryos

Aquatic Toxicology, 2014, 154: p. 221-229

DEKALI, Samir; GAMEZ, Christelle; KORTULEWSKI, Thierry; BLAZY, Kelly; RAT, Patrice; **LACROIX, Ghislaine**

Assessment of an in vitro model of pulmonary barrier to study the translocation of nanoparticles

Toxicology Reports, 2014, 1: p. 157-171

PELLETIER, Amandine; DELANAUD, Stéphane; **DE SEZE, René**; BACH, Véronique; LIBERT, Jean-Pierre; LOOS, Nathalie

Does exposure to a radiofrequency electromagnetic field modify thermal preference in juvenile rats?

PLoS One, 2014, 9 (6): p. e99007

MAYHOUB, Flora; BERTON, Thierry; BACH, Véronique; **TACK, Karine**; DEGUINES, Caroline; FLOCH-BARNEAUD, Adeline; **DESMOTS, Sophie**; STEPHAN-BLANCHARD, Erwan; CHARDON, Karen

Self-reported parental exposure to pesticide during pregnancy and birth outcomes: The Mecoxpo cohort study PLoS One, 2014, 9 (6): p. e99090

SOUISSI, Yasmine; KINANI, Said; BOUCHONNET, Stéphane; BOURCIER, Sophie; MALOSSE, Christian; SABLIER, Michel; **CREUSOT, Nicolas**; **MOMBELLI, Enrico**; **AIT-AISSA, Selim**

Photolysis of estrone generates estrogenic photoproducts with higher activity than the parent compound Environmental Science and Pollution Research, 2014, 21 (13): p. 7818-7827

BUISSET-GOUSSEN, Adeline; **GOUSSEN, Benoît**; DELLA-VEDOVA, Claire; GALAS, Simon; ADAM-GUILLERMIN, Christelle; LECOMTE-PRADINES, Catherine

Effects of chronic gamma irradiation: a multigenerational study using Caenorhabditis elegans

Journal of Environmental Radioactivity, 2014, 137: p. 190-197

MERDY, Patricia; **ACHARD, Romain**; SAMAALI, Ismahen; LUCAS, Yves

Selective extraction of PAHs from a sediment with structural preservation of Natural Organic Matter

Chemosphere, 2014, 107: p. 476-479

ANDERSSON-SKOLD, Y.; BARDOS, P.; CHALOT, M.; **BERT, Valérie**; CRUTU, G.; PHANTHAVONGSA, P.;

DELPLANQUE, Marion; TRACK, T.; CUNDY, A.B.

Developing and validating a practical decision support tool (DST) for biomass selection on marginal land

Journal of Environmental Management, 2014, 145: p. 113-121

KUMPIENE, Jurate; **BERT, Valérie**; DIMITRIOU, Ioannis; ERIKSSON, Jan; FRIESL-HANL, Wolfgang; GALAZKA, Rafal; HERZIG, Rolf; JANSSEN, Jolien; KIDD, Petra; MENCH, Michel; MULLER, Ingo; NEU, Silke; OUSTRIERE, Nadège; PUSCHENREITER, Markus; RENELLA, Giancarlo; ROUMIER, Pierre-Hervé; SIEBIELEC, Grzegorz; VANGRONSVELD, Jaco; **MANIER, Nicolas**

Selecting chemical and ecotoxicological test batteries for risk assessment of trace element-contaminated soils (phyto)managed by gentle remediation options (GRO)
Science of the Total Environment, 2014, 496: p. 510-522

PETIT, Jean-Eudes; FAVEZ, Olivier; SCIARE, Jean; CANONACO, Francesco; CROTEAU, Philip; MOCNIK, Grisa; JAYNE, John; WORSNOP, D.; **LEOZ-GARZIANDIA, Eva**

Submicron aerosol source apportionment of wintertime pollution in Paris, France by Double Positive Matrix Factorization (PMF2) using Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM) and multi-wavelength Aethalometer
Atmospheric Chemistry and Physics, 2014, 14(24): 13773-13787

KARR, Guillaume; PECASSOU, Bénédicte; BOUDET, Céline; RAMEL, Martine

Aide au choix des substances prioritaires du futur Plan national santé environnement (PNSE3): élaboration et mise en œuvre d'un indicateur de risque collectif
Environnement Risques & Santé, 2014, 13 (3): p. 232-243

HENNEBERT, Pierre; CHARRASSE, Benoit; DOUMENQ, Pierre; TIXIER, Céline; REBISCHUNG, Flore

Total, degradable, labile, percolable, colloidal, soluble fractions of hydrophobic organic contaminants in five sediments before and after aerobic and anaerobic maturation

BONOMO, L.; CAREGHINI, A.; MASTORGIO, A.; SAPONARO, S.; SEZENNA, E. - Proceedings of the 4th International symposium on sediment management (I2SM 2014). 2014

BRESSI, M.; SCIARE, Jean; GHERSI, Véronique; MIHALOPOULOS, N.; **PETIT, Jean-Eudes**; NICOLAS, J.-B.; MOUKHTAR, Sophie; ROSSO, A.; FERON, Anais; BONNAIRE, N.; POULAKIS, E.; THEODOSI, C.

Sources and geographical origins of fine aerosols in Paris (France)

Atmospheric Chemistry and Physics, 2014, 14: p. 1-28

FILLOL, Clemence; GARNIER, Robert; MULLOT, Jean-Ulrich; **BOUDET, Céline**; MOMAS, Isabelle; SALMI, Louis Rachid; VANDENTORREN, Stéphanie

Prioritization of the biomarkers to be analyzed in the French biomonitoring program
Biomonitoring, 2014, 1 (1)

PINTO, Caroline; GRIMALDI, Marina; BOULAHTOUF, Abdel; PAKDEL, Farzad; **BRION, François; AIT-AISSA, Selim**; CAVAILLES, Vincent; BOURGUET, William; GUSTAFSSON, Jan-Ake; BONDESSON, Maria; BALAGUER, Patrick

Selectivity of natural, synthetic and environmental estrogens for zebrafish estrogen receptors

Toxicology and Applied Pharmacology, 2014, 280 (1): p. 60-69

GAGNAIRE, Béatrice; **BADONILLES, Anne; SANCHEZ, Wilfried**

Depleted uranium disturbs immune parameters in Zebrafish, Danio rerio: An Ex Vivo/In Vivo experiment

Archives of Environmental Contamination & Toxicology, 2014, 67 (3): p. 426-435

DEBRY, Edouard; MALLET, Vivien

Ensemble forecasting with machine learning algorithms for ozone, nitrogen dioxide and PM10 on the Prev'Air platform

Atmospheric Environment, 2014, 91: p. 71-84

HAMAOU-LAGUEL, Lynda; **MELEUX, Frédéric**; BEEKMANN, Matthias; **BESSAGNET, Bertrand**; GENERMONT, Sophie; CELLIER, Pierre; **LETINOIS, Laurent**

Improving ammonia emissions in air quality modelling for France

Atmospheric Environment, 2014, 92: p. 584-595

SHANDILYA, Neeraj; LE BIHAN, Olivier; MORGENEYER, Martin

Effect of the normal load on the release of aerosol wear particles during abrasion

Tribology Letters, 2014, 55 (2): p. 227-234

SEMEROK, A.; **DUTOUQUET, Christophe**

Analytical performances of laser-induced micro-plasma of Al samples with single and double ultrashort pulses in air and with Ar-jet: A comparative study

Spectrochimica Acta Part B - Atomic Spectroscopy, 2014, 99: p. 163-171

HERMANN, Jorg; GERHARD, Christoph; AXENTE, Emanuel; **DUTOUQUET, Christophe**

Comparative investigation of laser ablation plumes in air and argon by analysis of spectral line shapes: Insights on calibration-free laser-induced breakdown spectroscopy

Spectrochimica Acta Part B - Atomic Spectroscopy, 2014, 100: p. 189-196

BAUDOIN, Régis; LEGENDRE, Audrey; JACQUES, Sébastien; COTTON, Jérôme; **BOIS, Frédéric Y.**; LECLERC, Eric

Évaluation of a liver microfluidic biochip to predict In vivo clearances of seven drugs in rats

Journal of Pharmaceutical Sciences, 2014, 103 (2): p. 706-718

VRIJHEID, Martine; SLAMA, Rémy; ROBINSON, Olivier; CHATZI, Leda; COEN, Muireann; VAN DEN HAZEL, Peter; THOMSEN, Cathrine; WRIGHT, John; ATHERSUCH, Toby J.; AVELLANA, Narcis; BASAGANA, Xavier; **BROCHOT, Céline; ZEMAN, Florence Anna**; ET AL.

The human early-life exposure (HELIX): Project rationale and design

Environmental Health Perspectives, 2014, 122 (6): p. 535-544

HAMON, Jeremy; JENNINGS, Paul; **BOIS, Frédéric Y.**

Systems biology modeling of omics data: effect of cyclosporine a on the Nrf2 pathway in human renal cells

BMC Systems Biology, 2014, 8: p. art. 76

MOUNEYRAC, Catherine;
DUROU, Cyril; **PERY,
Alexandre**

*Consequences of energy
metabolism impairments*

RAINBOW, P.-S.; AMIARD,
Jean-Claude; AMIARD-
TRIQUET, Claude - Ecological
biomarkers: indicators of
ecotoxicological effects. Boca
Raton: Taylor & Francis, 2013,
p. 307-325

QUIGNOT, Nadia; HAMON,
Jeremy; **BOIS, Frédéric Y.**

*Extrapolating in vitro results to
predict human toxicity*

BAL-PRICE, Anna; JENNINGS,
Paul - In Vitro Toxicology
Systems. New York: Springer,
2014, p. 531-550 (Methods
in Pharmacology and
Toxicology)

MERAD, Myriam; DECHY,
Nicolas; DEHOUCQ, Laurent;
LASSAGNE, Marc

*Les décisions face aux risques
majeurs: retours d'expériences
et pistes d'amélioration*

Actes du 19^e Congrès de maî-
trise des risques et sûreté de
fonctionnement. 2014

MICHEL, Julien; SIMOES,
Steeve; **BOUR, Olivier;**
HULOT, Corinne; **LEMOINE,
Marie;** **GAY, Guillaume;**
QUIOT, Fabrice

*Apports du DPT (Direct-Push
Technology) pour la caracté-
risation des sols et des eaux
souterraines*

Rencontres nationales de la
recherche sur les sites et sols
pollués, 18/11/2014 - 19/11/2014,
Paris, FRANCE

BERT, Valérie; **DEL GRATTA,
Florence;** **COLLET, Serge;**
PAPIN, Arnaud; DIMITRIOU,
Jannis; JANSSEN, Jolien;
NEU, Silke; PUSCHENREITER,
Markus; **GAUCHER, Rodolphe**

*Valorisation des biomasses
végétales issues des phyto-
technologies: projet européen
GREENLAND*

Rencontres nationales de la
recherche sur les sites et sols
pollués, 18/11/2014 - 19/11/2014,
Paris, FRANCE

BERT, Valérie; KARIMI,
Battle; ASSAD, Mohamad;
BLAUDEZ, Damien;
GIRARDCLOS, Olivier;
BOUCARD, Pierre;
RAVENTOS, Cécile; ROY,
Sébastien; **PAPIN, Arnaud;**
CHALOT, Michel

*Essais à grande échelle de
phytostabilisation aidée
couplée à une valorisation
biomasse en bois énergie*

Rencontres nationales de la
recherche sur les sites et sols
pollués, 18/11/2014 - 19/11/2014,
Paris, FRANCE

PUSCHENREITER, Markus;
MENCH, Michel; **BERT,
Valérie;** KUMPIENE, Jurate;
KIDD, Petra; CUNDY, Andrew

*Increasing the applicability
of gentle soil remediation
methods: lessons from the
Greenland project*

Rencontres nationales de la
recherche sur les sites et sols
pollués, 18/11/2014 - 19/11/2014,
Paris, FRANCE

TRAVERSE, Sylvie; **HULOT,
Corinne;** **PERRONNET,
Karen;** CHASTANET, Juliette

*Transferts de COV du sol vers
l'air: impacts modélisés ou
mesurés dans les gaz du sol
et l'air. Guide méthodologique
FLUXOBAT*

Rencontres nationales de la
recherche sur les sites et sols
pollués, 18/11/2014 - 19/11/2014,
Paris, FRANCE

TRAVERSE, Sylvie; **HULOT,
Corinne;** **PERRONNET,
Karen;** COLLIGNAN, Bernard

*Transfert de COV du sol vers
l'air: outils et illustration de la
variabilité des impacts dans
l'air intérieur. Guide FLUXOBAT*

Rencontres nationales de la
recherche sur les sites et sols
pollués, 18/11/2014 - 19/11/2014,
Paris, FRANCE

JOUBERT, Antoine;
DUMESTRE, Alain; DUMONT,
Julien; CARDETTI, Marc;
KVAPIL, Petr; BOTTERO,
Jean-Yves; ROSE, Jérôme;
AUFFAN, Mélanie; LABILLE,
Jérôme; KUMAR, Naresh;
QUIOT, Fabrice; **CHABOT,
Laure;** **REBISCHUNG,
Florence;** ROUDIER, Pascal;
MALLERET, Laure; KAIFAS,
Delphine; DOUMENQ, Pierre

*Traitement d'une zone source
en TCE et CrVI par injection
de nanoparticules de Fer Zéro
Valent optimisées*

Rencontres nationales de la
recherche sur les sites et sols
pollués, 18/11/2014 - 19/11/2014,
Paris, FRANCE

MENCH, Michel; FRIESL-
HANL, Wolfgang; HERZIG,
Rolf; VANGRONSVELD, Jaco;
KIDD, Petra; **BERT, Valérie;**
MACIAS, Felipe; MULLER,
Ingo; DIMITRIOU, Ioannis;
SIEBIELEC, Grzegorz;
RENELLA, Giancarlo;
PUSCHENREITER, Markus;
KOLBAS, Aliaksandr;
MARCHAND, Lilian;
OUSTRIERE, Nadège; HEGO,
Eléna; JANSSEN, Jolien;
ALVAREZ-LOPEZ, Vanessa;
NEU, Silke

*Phytomanagement de sites
contaminés en éléments
traces: le réseau européen
d'essais GREENLAND*

Rencontres nationales de la
recherche sur les sites et sols
pollués, 18/11/2014 - 19/11/2014,
Paris, FRANCE

HENNEBERT, Pierre; POIZAT,
Laurent; **REVALOR, Roger**

*Fixation des métaux lixiviables
et phytostabilisation d'un sol
minier par un résidu de bau-
xite modifié*

Rencontres nationales de la
recherche sur les sites et sols
pollués, 18/11/2014 - 19/11/2014,
Paris, FRANCE

BOULANGE, Marine;
ANDRIATSIHOARANA,
Sitiraka; LORGEUX,
Catherine; LUCAS, Lise;
MICHELS, Raymond; **MICHEL,
Julien;** FAURE, Pierre

*Compréhension des méca-
nismes de mobilisation et de
transfert de CAP oxygénés dans
les eaux souterraines et les sols*

Rencontres nationales de la
recherche sur les sites et sols
pollués, 18/11/2014 - 19/11/2014,
Paris, FRANCE

DELAFOULHOUE,
Maximilien; DEVIER, Marie-
Hélène; **AIT-AISSA, Selim;**
BUDZINSKI, Hélène

*Développement de l'analyse
dirigée par les effets pour
identifier les polluants de sols
industriels*

Rencontres nationales de la
recherche sur les sites et sols
pollués, 18/11/2014 - 19/11/2014,
Paris, FRANCE

LE BOT, Barbara;
GLORENNEC, Philippe;
DENYS, Sébastien

*Test non physiologique pour
la mesure de la bioaccessibi-
lité des métaux dans les sols,
comparaison avec la méthode
BARGE*

Rencontres nationales de la
recherche sur les sites et sols
pollués, 18/11/2014 - 19/11/2014,
Paris, FRANCE

DUMAT, Camille; CHENOT,
Elodie-Denise; POURRUT,
Bertrand; SCHWARTZ,
Christophe; LEGLIZE, Pierre;
OUVRARD, Stéphanie;
DOUAY, Francis; **HULOT,
Corinne;** MAROT, Franck

*Évaluation de la qualité des
plantes potagères: guide
d'échantillonnage et bases de
données*

Rencontres nationales de la recherche sur les sites et sols pollués, 18/11/2014 - 19/11/2014, Paris, FRANCE

FAYE, Cheikh-Benoît

Détection de polluants métalliques particuliers dans les liquides par la spectroscopie de plasma induit par laser (LIBS)

Thèse de doctorat. Université Claude-Bernard Lyon 1, 23/06/2014

PETIT, Jean-Eudes

Compréhension des sources et des processus de formation de la pollution particulaire

Thèse de doctorat. Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, 29/10/2014

WILLEMIN, Marie-Emilie

Élaboration d'un modèle toxicocinétique de la cis et trans-perméthrine et de ses métabolites chez le rat avec extrapolation à l'Homme

Thèse de doctorat. Université de Technologie de Compiègne, 21/11/2014

HUGUIER, Pierre

*Intérêt des organismes de la microfaune du sol dans la détermination de l'écotoxicité des matières fertilisantes organiques et déchets valorisés en agriculture: application de deux bioessais, le nématode *Caenorhabditis elegans* et l'acarien prédateur *Hypoaspis aculeifer**

Thèse de doctorat. Université de Metz, 17/12/2014

MEYER, Marie

Malformations congénitales et exposition à certains toxiques de l'environnement en Bretagne

Thèse de doctorat. Université de Rennes 1, 22/12/2014

MAMILOV, N.; BOTTA, Fabrizio; KOZHABAEVA, E.; LABADIE, Pierre; MAMILOV, A.; AMIRBEKOVA, F.T.; KHABIBULLIN, F.K.; SHALAKHMETOVA, T.; BLANCHOU, H.

*An assessment of the state of roach (*Rutilus rutilus*; *Cypriniformes*; *Actinopterygii*) and its living conditions on the Kazakhstan part of the Syrdarya river*

KazNU Bulletin - Ecology Series, 2014(1): 325-330

MERAD, Myriam; DECHY, Nicolas; MARCEL, Frédéric

A pragmatic way of achieving Highly Sustainable Organisation: Governance and organisational learning in action in the public French sector

Safety Science, 2014, 69 (Special issue): p. 18-28

MERAD, Myriam

Organisations hautement durables. Gouvernance, risques et critères d'apprentissage

Paris: Lavoisier, 2014 (Sciences du risque et du danger)

LLORY, Michel; MONTMAYEUL, René; CRU, Damien; DECHY, Nicolas; DIEN, Yves; FLORI, Anne; FANCHINI, Henri; FUCKS, Isabelle; MERAD, Myriam; VOIRIN, Marc

O acidente e a organizacao
Belo Horizonte: Fabrefactum Editora, 2014 (Confiabilidade Humana)

2015

HENNEBERT, Pierre; VAN DER SLOOT, Hans A.; REBISCHUNG, Flore; WELTENS, Reinhilde; GEERTS, Lieve; HJELMAR, Ole

Hazard property classification of waste according to the recent propositions of the EC using different methods

Waste Management, 2014, 34 (10): p. 1739-1751

JEREZ, Sandra; THAIS, Françoise; TOBIN, Isabelle; WILD, M.; COLETTE, Augustin; YIOU, Pascal; VAUTARD, Robert

The CLIMIX model: A tool to create and evaluate spatially-resolved scenarios of photovoltaic and wind power development

Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 42: p. 1-15

MARKAKIS, Konstantinos; VALARI, Myrto; COLETTE, Augustin; SANCHEZ, Olivier; PERRUSSEL, Olivier; HONORE, Cécile; VAUTARD, Robert; KLIMONT, Zbigniew; RAO, Shilpa

Air quality in the mid-21st century for the city of Paris under two climate scenarios; from the regional to local scale

Atmospheric Chemistry and Physics, 2014, 14 (14): p. 7323-7340

KOTLARSKI, Sven; KEULER, Klaus; CHRISTENSEN, Ole Bossing; COLETTE, Augustin; DEQUE, Michel; GOBIET, Andreas; GOERGEN, Klaus; JACOB, D.; LUTHI, Daniel; VAN MEIJGAARD, Erik; AL.

Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble

Geoscientific Model Development, 2014, 7 (4): p. 1297-1333

BESSAGNET, Bertrand; BEAUCHAMP, Maxime; GUERREIRO, Cristina; DE LEEUW, Frank; TSYRO, Svetlana; Frédéric; ROUIL, Laurence; RUYSSENAARS, Paul; SAUTER, Ferd;

VELDERS, Guus J.M.; FOLTESCU, Valentin L.; VAN AARDENNE, John

Can further mitigation of ammonia emissions reduce exceedances of particulate matter air quality standards?

Environmental Science & Policy, 2014, 44: p. 149-163

MEYER-MONATH, Marie; CHATELLIER, Claudine; ROUGET, Florence; MOREL, Isabelle; LESTREMAU, François

Development of a multi-residue method in a fetal matrix: analysis of meconium

Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2014, 406 (30): p. 7785-7797

CABOOTER, Deirdre; CHOIKHET, Konstantin; LESTREMAU, François; DITTMANN, Monika; DESMET, Gert

Towards a generic variable column length method development strategy for samples with a large variety in polarity

Journal of Chromatography A, 2014, 1372: p. 174-186

SHANDILYA, Neeraj; LE BIHAN, Olivier; BRESSOT, Christophe; MORGENEYER, Martin

Emission of titanium dioxide nanoparticles from building materials to the environment by wear and weather

Environmental Science & Technology, 2015, 49(4): 2163-2170

SHANDILYA, Neeraj; LE BIHAN, Olivier; BRESSOT, Christophe; MORGENEYER, Martin

Évaluation of the Particle Aerosolization from n-TiO₂ Photocatalytic Nanocoatings under Abrasion

Journal of Nanomaterials, 2014 : p. Art. 185080

MORGENEYER, Martin;
SHANDILYA, Neeraj; CHEN,
Yan-Ming; **LE BIHAN, Olivier**

Use of a modified Taber abrasion apparatus for investigating the complete stress state during abrasion and in-process wear particle aerosol generation

Chemical Engineering Research and Design, 2015, 93: p. 251-256

VUILLET, Emmanuelle;

BERLIOZ-BARBIER,
Alexandra; LAFAY, Florent;
BAUDOT, Robert; WIEST,
Laure; VAUCHEZ, Antoine;
LESTREMAU, François;
BOTTA, Fabrizio; CREN-
OLIVE, Cécile

A national reconnaissance for selected organic micropollutants in sediments on French territory

Environmental Science and Pollution Research, 2014, 21 (19): p. 11370-11379

COTELLE, Sylvie; DHYEVRE,
Adrien; MULLER, Serge;
CHENON, Pascale; **MANIER,
Nicolas**; **PANDARD, Pascal**;
ECHAIRI, Abdelwahad;
SILVESTRE, Jérôme;
GUIRESSE, Maritxu; PINELLI,
Eric; GIORGETTI, Lucia;
BARBAFIERI, Meri; SILVA,
Valéria C.; ENGEL, Fernanda;
RADETSKI, Claudemir M.

Soil genotoxicity assessment - results of an interlaboratory study on the Vicia micro-nucleus assay in the context of ISO standardization

Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22 (2): p. 988-

HUGUIER, Pierre; **MANIER,
Nicolas**; OWOJORI,
Olugbenga John; BAUDA,

Pascale; **PANDARD, Pascal**;
RÖMBKE, Jörg

The use of soil mites in ecotoxicology: a review
Ecotoxicology, 2015, 24 (1):
p. 1-18

CARDOSO, Olivier;
PORCHER, Jean-Marc;
SANCHEZ, Wilfried

Factory-discharged pharmaceuticals could be a relevant source of aquatic environment contamination: Review of evidence and need for knowledge
Chemosphere, 2014, 115
(Special issue): p. 20-30

JOLLY, Sabrina; JAFFAL,
Ali; DELAHAUT, Laurence;
PALLUEL, Olivier; **PORCHER,
Jean-Marc**; GEFFARD,
Alain; **SANCHEZ, Wilfried**;
BETOULLE, Stéphane

*Effects of aluminium and bacterial lipopolysaccharide on oxidative stress and immune parameters in roach, *Rutilus rutilus* L.*

Environmental Science and Pollution Research, 2014, 21 (22): p. 13103-13117

CREUSOT, Nicolas; **BRION,
François**; **PICCINI, Benjamin**;
BUDZINSKI, Hélène;
PORCHER, Jean-Marc; **AIT-
AISSA, Selim**

BFCOD activity in fish cell lines and zebrafish embryos and its modulation by chemical ligands of human aryl hydrocarbon and nuclear receptors

Environmental Science and Pollution Research, 2015 : p.

BADO-NILLES, Anne;
TECHER, Romy; **PORCHER,
Jean-Marc**; GEFFARD,
Alain; GAGNAIRE, Béatrice;
BETOULLE, Stéphane;
SANCHEZ, Wilfried

Detection of immunotoxic effects of estrogenic and androgenic endocrine disrupting compounds using splenic immune cells of the female

*three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* (L.)*

Environmental Toxicology and Pharmacology, 2014, 38 (2):
p. 672-683

SANTOS, Raphaël; JOYEUX,
Aude; **PALLUEL, Olivier**;
PALOS-LADEIRO, Mélissa;
BESNARD, Aurélien;
BLANCHARD, Christophe;
PORCHER, Jean-Marc;
BONY, Sylvie; DEVAUX,
Alain; **SANCHEZ, Wilfried**

*Characterization of a genotoxicity biomarker in three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.): Biotic variability and integration in a battery of biomarkers for environmental monitoring.*

Environmental Toxicology, 2015 : p.

DUTILLEUL, Morgan;
BONZOM, Jean-Marc;
LECOMTE, Catherine;
GOUSSEN, Benoît; DAIAN,
Fabrice; GALAS, Simon;
REALE, Denis

*Rapid evolutionary responses of life history traits to different experimentally-induced pollutions in *Caenorhabditis elegans**

BMC Evolutionary Biology, 2014, 14: p. Art. 252

CASSANO, Antonio;
RAITANO, Giuseppa;
MOMBELLI, Enrico;
FERNANDEZ, Alberto;

CESTER, Josep;
RONCAGLIONI, Alessandra;
BENFENATI, Emilio

Évaluation of QSAR models for the prediction of Ames genotoxicity: A retrospective exercise on the chemical substances registered under the EU REACH regulation

Journal of environmental Science and Health, Part C, 2014, 32 (3): p. 273-298

PROT, Jean-Matthieu;
MACIEL, Luis; BRICKS,
Thibault; MERLIER, Franck;
COTTON, Jérôme; PAULLIER,
Patrick; **BOIS, Frédéric Y.**;
LECLERC, Eric

First pass intestinal and liver metabolism of paracetamol in a microfluidic platform coupled with a mathematical modeling as a means of evaluating ADME processes in humans

Biotechnology and Bioengineering, 2014, 111 (10):
p. 2027-2040

LECLERC, Eric; HAMON,
Jeremy; LEGENDRE, Audrey;
BOIS, Frédéric Y.

Integration of pharmacokinetic and NRF2 system biology models to describe reactive oxygen species production and subsequent glutathione depletion in liver microfluidic biochips after flutamide exposure

Toxicology in Vitro, 2014, 28 (7): p. 1230-1241

MUELLER, Stefan O.;
DEKANT, Wolfgang;
JENNINGS, Paul; TESTAI,
Emanuela; **BOIS, Frédéric Y.**

Comprehensive summary - Predict-IV: A systems toxicology approach to improve pharmaceutical drug safety testing

Toxicology in Vitro, 2015 : p.

GOULD, A. Lawrence; BOYE,
Mark Ernest; CROWTHER,
Michael J.; IBRAHIM, Joseph
G.; QUARTEY, George;
MICALLEF, Sandrine; **BOIS,
Frédéric Y.**

Joint modeling of survival and longitudinal non-survival data: current methods and issues. Report of the DIA Bayesian joint modeling working group
Statistics in Medicine, 2015 : p.

MOMBELLI, Enrico;
PERY, Alexandre; FABRE,
Isabelle; BOISLEVE, Fanny;
PALLARDY, Marc

*Prédictions par lecture croisée
du potentiel sensibilisant des
substances chimiques: un
exercice du groupe de travail
FRANCOPA sur la recherche*

Environnement Risques &
Santé, 2014, 13 (6): p. 467-475

LE GUERNIC, A.; **SANCHEZ,**
Wilfried; BETOULLE,
Stéphane; GAGNAIRE,
Béatrice

*Multi-metallic contamination
around former uranium mines
induces adverse effects and
acclimation disturbance in
three-spined stickleback
(Gasterosteus aculeatus)*

Journal of Xenobiotics, 2014, 4
(2): p. 92-93

BADO-NILLES, Anne;
VILLERET, Mélanie;
GEFFARD, Alain; **PALLUEL,**
Olivier; BLANCHARD,
Christophe; LE ROHIC,
Cindy; BESSON, Sylvain;
PORCHER, Jean-Marc;
MINIER, Christophe;
SANCHEZ, Wilfried

*Recommendations to design
environmental monitoring in
the European bullhead, Cottus
sp., based on reproductive
cycle and immunomarker
measurement*

Marine Pollution research,
2015 : p.

DUPUY, Célie; GALLAND,
Claire; PICHEREAU, Vianney;
SANCHEZ, Wilfried; RISO,
Ricardo; LABONNE, Maylis;
AMARA, Rachid; CHARRIER,
Gregory; FOURNIER, Michel;
LAROUCHE, Jean

*Assessment of the European
flounder responses to che-
mical stress in the English
Channel, considering biomar-
kers and life history traits*

Marine Pollution research,
2015 : p.

GAGNAIRE, Béatrice; **BADO-**
NILLES, Anne; BETOULLE,
Stéphane; AMARA, Rachid;
CAMILLE, Virginie;
CAVALIE, Isabelle; CHADILI,
Edith; DELAHAUT, Laurence;
KERAMBRUN, Elodie;
ORJOLLET, Daniel; **PALLUEL,**
Olivier; **SANCHEZ, Wilfried**

*Former uranium mine-induced
effects in caged roach: a
multiparametric approach for
the evaluation of in situ metal
toxicity*

Ecotoxicology, 2015, 24 (1):
p. 215-231

BADO-NILLES, Anne;
DIALLO, Alpha-Oumar;
MARLAIR, Guy; **PANDARD,**
Pascal; **CHABOT, Laure;**
GEFFARD, Alain; LEN,
Christophe; **PORCHER, Jean-**
Marc; **SANCHEZ, Wilfried**

*Coupling of OECD stan-
dardized test and immuno-
markers to select the most
environmentally benign ionic
liquids option-Towards an
innovative "safety by design"
approach*

Journal of Hazardous
Materials, 2015, 283: p. 202-210

AMMOURA, Lamia; XUEREF-
REMY, Irène; GROS, Valérie;
BAUDIC, Alexia; BONSANG,
Bernard; **PETIT, Jean-**
Eudes; PERRUSSEL, Olivier;
BONNAIRE, Nicolas; SCIARE,
Jean; CHEVALLIER, Frédéric

*Atmospheric measurements
of ratios between CO₂ and*

*co-emitted species from traf-
fic: a tunnel study in the Paris
megacity*

Atmospheric Chemistry
and Physics, 2014, 14:
p. 12871-12882

PETIT, Jean-Eudes; **FAVEZ,**
Olivier; SCIARE, Jean; CRENN,
Vincent; SARDA-ESTEVE,
Roland; BONNAIRE, Nicolas;
DUPONT, J.-C. ; MOCNIK,
Grisa; HAEFFELIN, Martial;
LEOZ-GARZIANDIA, Eva

*Atmospheric measurements
of ratios between CO₂ and
co-emitted species from traf-
fic: a tunnel study in the Paris
megacity*

Atmospheric Chemistry and
Physics, 2015 : p.

PANTELIADIS, P.;
HAFKENSCHIED T.; CARY,
B.; DIAPOULI, E.; FISCHER,
A.; **FAVEZ, Olivier;**
QUINCEY, Paul; VIANA, Mar;
HITZENBERGER, R.; VECCHI,
R.; SARAGA, D.; SCIARE,
Jean; JAFFREZO, Jean-Luc;
JOHN, A.; SCHWARZ, J.;
GIANNONI, M.; NOVAK, J.;
KARANASIOU, A.; FERMO,
P.; MAENHAUT, W.

*ECOC comparison exercise
with identical thermal proto-
cols after temperature offset
correction - instrument dia-
gnostics by in-depth evalua-
tion of operational parameters*

Atmospheric Measurement
Techniques, 2015, 8: p. 779-792

SCHUCHT, Simone;
COLETTE, Augustin; RAO,
Shilpa; HOLLAND, Mike;
SCHOPP, Wolfgang; KOLP,
Peter; KLIMONT, Zbigniew;
BESSAGNET, Bertrand;
SZOPA, Sophie; VAUTARD,

Robert; **BRIGNON, Jean-**
Marc; **ROUIL, Laurence**

*Moving towards ambitious
climate policies: Monetised
health benefits from improved
air quality could offset mitiga-
tion costs in Europe*

Environmental Science &
Policy, 2015, 50: p. 252-269

GHOSN, Rania; HUGUEVILLE,
L.; DUCORPS, A.;
LEMARECHAL, J.-D. ; YAHIA-
CHERIF, L.; **THUROCY,**
Gyorgy; **DE SEZE, René;**
SELMAOUI, Brahim

*Radiofrequency signal
affects alpha band in resting
electroencephalogram*

Journal of Neurophysiology,
2015 : p.

ALTENBURGER, Rolf; **AIT-**
AISSA, Selim; ANTCZAK,
Philipp; BACKHAUS, T.;
BARCELO, Damià; SEILER,
Thomas B.; **BRION, François;**
ET AL.

*Future water quality moni-
toring - Adapting tools to deal
with mixtures of pollutants in
water resource management*
Science of the Total
Environment, 2015, 512-513:
p. 540-551

MUNOZ, Gabriel; GIRADEL,
Jean-Luc; **BOTTA, Fabrizio;**
LESTREMAU, François;
DEVIER, Marie-Hélène;
BUDZINSKI, Hélène;
LABADIE, Pierre

*Spatial distribution and par-
titioning behavior of selected
poly- and perfluoroalkyl subs-
tances in freshwater ecosys-
tems: A French nationwide
survey*

Science of the Total
Environment, 2015, 517:
p. 48-56

2014

PRANA, Vinca; **ROTUREAU, Patricia; FAYET, Guillaume;** ANDRE, David; HUB, Serge; **VICOT, Patricia;** RAO, Li; ADAMO, Carlo

Prediction of the thermal decomposition of organic peroxides by validated QSPR models

Journal of Hazardous Materials, 2014, 276: p. 216-224

CHANCELIER, Léa; SANTINI, Catherine; **DIALLO, Alpha-Oumar; MARLAIR, Guy;** GUTEL, Thibaut

Les liquides ioniques, des électrolytes innovants pour sécuriser les batteries lithium-ion

Actualité Chimique, 2014 (390): 42-44

LE COZE, Jean-Christophe

The foundations of safety science

Safety Science, 2014, 67: p. 1-5

DAUBECH, Jérôme; **HEBRARD, Jérôme;** JALLAIS, Simon; VYAZMINA, Elena; **JAMOIS, Didier;** VERBECKE, Franck

Un-ignited and ignited high pressure hydrogen releases: concentration - turbulence mapping and overpressure effects

SKJOLD, Trygve; ECKHOFF, Rolf K.; VAN WINGERDEN, Kees - Proceedings of the 10th international symposium on hazards, prevention, and mitigation of industrial explosions (X ISHPMIE). Bergen: GexCon AS, 2014, p. 93-104

GREGOIRE, Yann; PROUST, Christophe; LEPRETTE, Emmanuel

Dust explosion development in a vessel-duct arrangement

SKJOLD, Trygve; ECKHOFF, Rolf K.; VAN WINGERDEN, Kees - Proceedings of the 10th international symposium on hazards, prevention, and mitigation of industrial explosions (X ISHPMIE). Bergen: GexCon AS, 2014, p. 1539-1556

PROUST, Christophe; **LEPRETTE, Emmanuel;** **JAMOIS, Didier;** BICHON, M.

Gaseous flame suppression mechanisms

SKJOLD, Trygve; ECKHOFF, Rolf K.; VAN WINGERDEN, Kees - Proceedings of the 10th international symposium on hazards, prevention, and mitigation of industrial explosions (X ISHPMIE). Bergen: GexCon AS, 2014, p. 565-578

PROUST, Christophe

Gas flame acceleration in long ducts

SKJOLD, Trygve; ECKHOFF, Rolf K.; VAN WINGERDEN, Kees - Proceedings of the 10th international symposium on hazards, prevention, and mitigation of industrial explosions (X ISHPMIE). Bergen: GexCon AS, 2014, p. 873-886

SAIL, Julien; BLANCHETIERE, Vincent; GENIAUT, Baptiste; OSMAN, Karim; **DAUBECH, Jérôme; JAMOIS, Didier;** **HEBRARD, Jérôme**

Review of knowledge and recent works on the influence of initial turbulence in methane explosion

SKJOLD, Trygve; ECKHOFF, Rolf K.; VAN WINGERDEN, Kees - Proceedings of the 10th international symposium on hazards, prevention, and mitigation of industrial explosions (X ISHPMIE). Bergen: GexCon AS, 2014, p. 401-432

GACHOT, Grégory; GRUGEON, Sylvie; JIMENEZ-GORDON, Isabel; **ESHETU, Gebrekidan G.;** BOYANOV, Simeon; **LECOCQ, Amandine;** **MARLAIR, Guy;** PILARD, Serge; LARUELLE, Stéphane

Gas chromatography/Fourier transform infrared/mass spectrometry coupling: a tool for Li-ion battery safety field investigation

Analytical Methods, 2014, 6(15): p. 6120-6124

JANES, Agnès; VIGNES, Alexis; DUFAUD, Olivier; **CARSON, Douglas**

Experimental investigation of the influence of inert solids on ignition sensitivity of organic powders

Process Safety and Environmental Protection, 2014, 92(4): 311-323

FAYET, Guillaume; **ROTUREAU, Patricia**

Development of simple QSPR models for the impact sensitivity of nitramines

Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2014, 30: p. 1-8

ESHETU, Gebrekidan G.; **BERTRAND, Jean-Pierre;** **LECOCQ, Amandine;** GRUGEON, Sylvie; LARUELLE, Stéphane; ARMAND, Michel; **MARLAIR, Guy**

Fire behavior of carbonates-based electrolytes used in Li-ion rechargeable batteries with a focus on the role of the LiPF₆ and LiFSI salts

Journal of Power Sources, 2014, 269: p. 804-811

WOOLLEY, R.M.; FAIRWEATHER, Michael; WAREING, C.J.; **PROUST, Christophe;** **HEBRARD, Jérôme;** **JAMOIS, Didier;** NARASIMHAMURTHY, V.D.; STORVIK, Idar; SKJOLD, Trygve; FALLE, S.A.E.G.; BROWN, S.; MAHGEREFTEH, Haroun; MARTYNOV, S.; GANT, Simon; TSANGARIS, D.M.; ECONOMOU, I.G.; BOULOUGOURIS, G.C.; DIAMANTONIS, N.I.

An integrated, multi-scale modelling approach for the simulation of multiphase dispersion from accidental CO₂ pipeline releases in realistic terrain

International Journal of Greenhouse Gas Control, 2014, 27: p. 221-238

CAGNINA, Stefania; **ROTUREAU, Patricia; FAYET, Guillaume;** ADAMO, Carlo

Modeling chemical incompatibility: the ammonium nitrate and sodium salt of dichloroisocyanuric acid as a case study

Industrial & Engineering Chemistry Research, 2014, 53(36): 13920-13927

EVANNO, Sébastien; **WEINBERGER, Benno**

Procédés de méthanisation et gestion des risques industriels. Retour d'expérience en France et en Allemagne

TSM - Techniques sciences méthodes, 2014 (3): p. 62-73

LACOME, Jean-Marc; **VINCENT, Jean-Martin;** **ZEMAN, Florence Anna**

Analysis of toxic load calculations and fluctuation concentrations modeling for the assessment of atmospheric accidental release

BATCHVAROVA, Ekaterina; KIROVA, Hristina; HRISTOVA, Elena - Proceedings of the 16th International conference on harmonisation within atmospheric dispersion modelling for regulatory purposes. 2014, p. 478-483

LACOME, Jean-Marc; LEROY, Guillaume; TRUCHOT, Benjamin; JOUBERT, A.; WEI, Xiao; DUPONT, Eric; GILBERT, Eric; CARISSIMO, Bertrand

Large-eddy simulation of wind flows and comparisons with very-near field campaign data

BATCHVAROVA, Ekaterina; KIROVA, Hristina; HRISTOVA, Elena - Proceedings of the 16th International conference on harmonisation within atmospheric dispersion modelling for regulatory purposes. 2014, p. 615-620

LE COZE, Jean-Christophe

Reflecting on Jens Rasmussen's legacy. A strong program for a hard problem
Safety Science, 2015, 71: p. 123-141

GANT, S.E.; NARASIMHAMURTHY, V.D.; SKJOLD, T.; **JAMOIS, Didier; PROUST, Christophe**

Évaluation of multi-phase atmospheric dispersion models for application to Carbon Capture and Storage

Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2014, 32: p. 286-298

ROSNER, Elsa; BRISSAUD, Florent; DECLERCK, Bruno; **FLAUW, Yann; DE DIANOUS, Valérie; BOLVIN, Christophe**

Différences entre approches semi-quantitative et quantitative pour l'évaluation probabiliste des risques technologiques

Actes du 19^e Congrès de maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement. 2014

GELLY, Alain; GALLOIS, Marie; DUVAL, Carole; LECHAUDEL, Jean-François; RABARDY, Myriam; MAILLOT, Bernard; ANTOINE, Marc; **REIMERINGER, Mathieu**

Maîtrise des risques liés aux événements naturels extrêmes

Actes du 19^e Congrès de maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement. 2014

CHATEAUNEUF, A.; **REIMERINGER, Mathieu; PROD'HOMME, Gaëtan**

Methodologies d'évaluation de la sûreté des structures vieillissantes - Panorama et benchmarking

Actes du 19^e Congrès de maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement. 2014

DRANGUET, Jean-Michel; JOGUET, Benjamin

Limites d'application de la norme de sécurité fonctionnelle CEI 61508 dans le cadre d'un projet complexe

Actes du 19^e Congrès de maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement. 2014

ESCANDE, Jean; **PROUST, Christophe; LE COZE, Jean-Christophe**

Les signaux faibles: dépasser le problème de l'impossible prédictibilité

Actes du 19^e Congrès de maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement. 2014

MAZRI, Chabane; DELATOUR, Guillaume; LACLEMENCE, Patrick; CALCEI, Didier

Indicateurs de sécurité dans l'industrie chimique. Réflexions et inspirations issues d'autres activités à risques majeurs

Actes du 19^e Congrès de maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement. 2014

MAZRI, Chabane; DELATOUR, Guillaume; LACLEMENCE, Patrick; CALCEI, Didier

De l'émergence dans les risques émergents

Actes du 19^e Congrès de maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement. 2014

DELATOUR, Guillaume; LACLEMENCE, Patrick; CALCEI, Didier; **MAZRI, Chabane**

Système de gestion de la sécurité: quel espace critique pour la décision d'anticipation?

Actes du 19^e Congrès de maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement. 2014

KONE, Habib

Contribution à la maîtrise des incertitudes des logiciels de type CFD (Computational Fluid Dynamics) pour la prédiction des explosions

Thèse de doctorat. Université de Technologie de Compiègne, 22/05/2014

CAGNINA, Stefania

Compréhension des mécanismes d'incompatibilités chimiques par modélisation moléculaire

Thèse de doctorat. Chimie ParisTech, 27/10/2014

2015

GRIDELET, Laurent; DELBECQ, Philippe; HERVE, Laurent; BOISSOLLE, Pierre; FLEURY, Dominique; **KOWAL, Sophie; FAYET, Guillaume**

Proposal of a new risk assessment method for the handling of powders and nanomaterials
Industrial Health, 2015, 53 (1): p. 56-68

FONTAINE, François

Enquête technique après accident industriel

DINH-AUDOUIN, Minh-Thu; OLIVIER, Danièle; RIGNY, Paul - Chimie et expertise: sécurité des biens et des personnes. Les Ulis: EDP Sciences, 2014, p. 149-164

AUTRES

2014

ZUDDAS, Pierpaolo;
RILLARD, Jean;
CHAROENJIT, Kitsanai;
TOULHOAT, Pierre

Limiting the risk inherent to geological CO₂ storage: The importance of predicting inorganic and organic chemical species behavior under supercritical CO₂ fluid conditions

Greenhouse Gases-Science and Technology, 2014, 4 (2 - special issue): p. 200-209

BOUILLARD, Jacques;
HENRY, François; MARCHAL, Philippe

Rheology of powders and nanopowders through the use of a Couette four-bladed vane rheometer: flowability, cohesion energy, agglomerates and dustiness

Journal of Nanoparticle Research, 2014, 16 (8): p. art. 2558

2015

TOULHOAT, Pierre

Des produits aux installations: apport des sciences chimiques pour renforcer la sécurité

DINH-AUDOUIN, Minh-Thu;
OLIVIER, Danièle; RIGNY, Paul
- Chimie et expertise: sécurité des biens et des personnes. Les Ulis: EDP Sciences, 2014, p. 79-91

Conception et réalisation : Corporate Fiction

Crédits photos :

couverture : ©mubus7/Shutterstock.com
©Bertold Werkmann/Shutterstock.com
©ArtisticPhoto/Shutterstock.com

P.11: ©Marcin Balcerzak/Shutterstock.com
©Janaka Dharmasena/Shutterstock.com
©Juergen Faelchle/Shutterstock.com

P.15 : ©folewu/Shutterstock.com

P.24 : ©Julia Kopacheva/Shutterstock.com

P.25 : ©whitehouse/Shutterstock.com
©djem/Shutterstock.com
©Yarygin/Shutterstock.com

P.32 : ©My Good Images/Shutterstock.com

P.33 : ©aodaodaodaod/Shutterstock.com
©Evgeny Smolsky/Shutterstock.com
©Lostry7/Shutterstock.com

P.46 : Unsplash

P.47 : ©Shebeko/Shutterstock.com
©Pierre Huguier
©TSpider/Shutterstock.com

P.56 : ©Pressmaster/Shutterstock.com
©Mircea RUBA/Shutterstock.com

©Michel Chantrelle/INERIS - DR INERIS

Dépôt légal : Novembre 2015 - ISSN 1765-1379



*maîtriser le risque
pour un développement durable* |

Institut national de l'environnement industriel et des risques
Parc Technologique Alata - BP2 - 60550 Verneuil-en-Halatte
Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99
E-mail : ineris@ineris.fr - Internet : www.ineris.fr