



La sécurité maritime et les risques liés aux fuites accidentelles de substances chimiques

25 mai 2010

Sécurité maritime : l'INERIS contribue à une meilleure connaissance des rejets accidentels de substances chimiques

Avec l'augmentation du risque « chimiquier » dans le transport maritime, l'INERIS s'est impliqué dans l'étude des risques de fuites accidentelles de gaz liquéfiés et de liquides évaporants, en cas de sinistre d'un navire. En collaborant au programme GALERNE, l'Institut a mené des travaux pour mieux comprendre le comportement de ce type de substances lorsqu'elles sont libérées en mer et a participé à l'élaboration de « fiches Interventions » destinées à renforcer la sécurité des équipes de secours.

Le risque maritime n'est pas uniquement le fait de fuites accidentelles d'hydrocarbures liquides comme le pétrole. Compte tenu de l'augmentation constante du transport et du stockage de substances dangereuses, les risques « gazier » et « chimiquier », créés par des rejets accidentels de gaz liquéfiés (méthane, GPL...) ou de liquides évaporants (benzène...), deviennent aujourd'hui non-négligeables. Ces risques sont susceptibles d'affecter les équipages, les équipes d'intervention et les populations côtières. Or le comportement de ces gaz libérés en mer est encore mal connu. Dans l'optique de mieux connaître ce domaine, l'INERIS, fort de son expertise des risques d'explosion et de dispersion de toxiques, a participé au programme GALERNE.

Coordonné par le CEDRE¹, le programme ANR « Gaz et Liquides Evaporants et Risques de Nuisances Environnementales et humaines » a permis d'élaborer des fiches d'information, utilisables en cas de sinistre, pour les Equipes d'Evaluation et d'Intervention de la Marine Nationale. Ces fiches portent sur le Gaz Naturel Liquéfié (méthane), le propane, l'éthylène, l'ammoniac, le chlorure de vinyle monomère, le benzène, les xylènes. Dans ce cadre, l'INERIS a contribué, par ses travaux de modélisation numérique et d'expérimentation, à accroître les connaissances sur la dispersion accidentelle des gaz liquéfiés et liquides évaporants en mer et a participé, en s'appuyant sur l'expérience de sa Cellule d'Appui aux Situations d'Urgence, à l'élaboration de « fiches Interventions ».

Grâce à un dispositif expérimental original, qui combine plusieurs moyens de mesure dans un bassin d'eau salée reproduisant des conditions de dispersion à échelle réduite, l'INERIS a montré que les phénomènes d'évaporation et de dispersion de gaz en mer n'étaient pas régis par les mêmes lois de comportement que dans le cas d'un rejet sur le sol. Les fluides cryogéniques comme le méthane² ou les GPL, par exemple, ne s'évaporent pas nécessairement sous forme d'une nappe à la surface de l'eau mais peuvent former un cône de mélange sous la surface, qui induit un effet de bouillonnement et une température « élevée » des vapeurs. En outre, lorsqu'un panache gazeux s'est formé, il apparaît que dans certaines conditions, la partie visible du panache ne correspond pas aux zones dangereuses inflammables.

La combinaison d'une approche expérimentale et de simulation numérique a également permis de montrer les limites de la modélisation pour saisir toutes les dimensions d'un phénomène aussi complexe que le comportement des gaz en mer. Une validation des outils pour des rejets massifs et en conditions expérimentales à grande échelle est nécessaire. Il a également été observé l'intérêt de coupler différents modèles pour obtenir une simulation plus pertinente (champ de dispersion « proche »³, champ de dispersion lointain).

L'INERIS, spécialiste de l'évaluation et de la gestion des risques accidentels liés aux activités industrielles, consacre une grande part de ses travaux à l'étude des phénomènes dangereux : explosion, incendie, dispersion de toxiques. Ses compétences sont mises à disposition des pouvoirs publics comme des industriels. L'Institut, qui dispose de moyens d'essais parmi les plus importants en France (galeries explosion et incendie...), contribue à accroître et diffuser les connaissances sur les mécanismes, effets et conséquences (notamment en termes de résistance des structures) de ces phénomènes dangereux. Il développe des outils de simulation numérique, réalise des essais à toutes échelles et propose une ingénierie d'essai et des dispositifs d'expérimentation « sur mesure ».

¹ Centre de Documentation, de Recherche et d'Expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux.

² Remplacé par l'azote liquide non toxique en conditions expérimentales.

³ Moins d'1 km de la source.

A l'origine des travaux de l'INERIS, l'enjeu du « risque chimiquier »

Compte tenu de l'importance du trafic pétrolier, le risque maritime est souvent quasi-exclusivement perçu comme issu de fuites accidentelles d'hydrocarbures liquides. Les phénomènes de marées noires liées à des sinistres impliquant des navires pétroliers ont de ce fait été largement étudiés.

L'accident puis le naufrage du navire *levoli Sun* le 31 octobre 2000 au large des Côtes d'Armor et du Cotentin rappelle cependant que le risque créé par des rejets accidentels de matières dangereuses autres que des hydrocarbures liquides (hydrocarbures gazeux liquéfiés ou sous pression ; autres familles de substances...) n'est pas négligeable. 1 027 tonnes de méthylethylcétone, 996 tonnes d'alcool isopropylique et surtout 3 998 tonnes de styrène, substance toxique évaporante constituant un risque important de pollution atmosphérique, se sont déversées dans et sur l'eau⁴.

Les risques « gazier » et « chimiquier » : de quoi parle-t-on ?

Le transport et le stockage de substances chimiques se sont considérablement développés depuis vingt ans dans le transport maritime. Dans la Manche, le trafic est passé de 30 millions de tonnes en 1988 à 150 millions en 2000, soit une multiplication par cinq en douze ans. Parmi les substances en forte croissance, le gaz naturel (ou méthane), dont la consommation augmente de 3% par an, voit son trafic maritime croître de 10% par an. Ce développement s'accompagne de l'augmentation des capacités de transport qui sont passées de 5 000 m³ dans les années 50 à près de 200 000 m³ aujourd'hui⁵. La France est particulièrement concernée par cette évolution puisqu'un quart du trafic maritime mondial transite par la Manche.

A partir de l'analyse, par le Centre de Documentation, de Recherche et d'Expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux (CEDRE), des 69 accidents de « pollution chimique » recensés entre 1947 et 2002, on constate que les déversements accidentels ont lieu essentiellement à partir de navires spécialisés dans le transport de matières chimiques (38%) et ensuite de cargos (35%). Dans les deux tiers des cas, les rejets ont pour origine des fuites au niveau des cuves.

Les risques que présente le transport maritime de matières dangereuses concernent en premier lieu les équipages, mais aussi les services de secours qui interviennent lors du sinistre ainsi que les populations côtières. Outre les possibilités d'accidents en zones portuaires ou côtières, il faut considérer le cas des navires sinistrés en pleine mer, pris en charge pour être éloignés de zones sensibles ou encore rapprochés d'une zone abri, ce qui peut contraindre les autorités à les acheminer par des couloirs maritimes proches de côtes à forte densité de population.

Le programme GALERNE pour assurer la sécurité des services d'intervention

Au regard de la croissance du trafic maritime de substances chimiques, les connaissances des services de secours sur les rejets accidentels de produits chimiques en mer sont plus limitées et les méthodes d'intervention moins maîtrisées que dans le cas des hydrocarbures liquides. Cette situation s'explique notamment parce que le comportement de ce type de substances dangereuses dans le contexte d'un sinistre maritime a été encore peu étudié.

Le programme « Gaz et Liquides Evaporants et Risques de Nuisances Environnementales et humaines », financé par l'Agence Nationale de la Recherche, a été lancé en 2006. Coordonné par le CEDRE, il a associé les compétences d'une dizaine de partenaires dont l'INERIS, sollicité pour son expertise des risques accidentels liés aux substances dangereuses (explosion et dispersion de toxiques).

Dans ce cadre, l'Institut a contribué à accroître les connaissances sur le comportement des gaz liquéfiés et liquides évaporants libérés accidentellement en mer. GALERNE a abouti à la réalisation de fiches d'information, utilisables en cas de sinistre, pour les Equipes d'Evaluation et d'Intervention de la Marine Nationale.

⁴ Pour plus d'informations, consulter le site du CEDRE : www.cedre.fr.

⁵ Source CEDRE.

L'INERIS explore un nouveau champ de recherche : le comportement de rejets chimiques accidentels en mer

La méthodologie développée pour étudier le comportement de produits chimiques dangereux (Gaz Naturel Liquéfié, ammoniac, chlorure de vinyle, propane, éthylène, xylènes, benzène) transportés par voie maritime combine deux approches complémentaires, simulation numérique et essais expérimentaux à échelle réduite.

L'objet de ce volet du programme GALERNE, dont la plupart des aspects ont été pilotés par l'INERIS, est d'étudier la physique des déversements accidentels sur l'eau et sous l'eau de gaz liquéfiés et de liquides évaporants. Il a porté sur l'étude des mécanismes de rejet depuis la source d'émission jusqu'à la dispersion dans l'atmosphère et la formation de nuages toxiques ou inflammables.

La mise en œuvre des approches numériques et expérimentales a été précédée par l'étude et la synthèse des connaissances relatives aux interactions entre les produits dangereux considérés et le milieu (surface d'eau salée plus ou moins agitée) dans lequel se dispersent ces produits (gaz liquéfiés, réfrigérés ou pressurisés, et liquides flottants ou évaporants à température ambiante).

Un dispositif d'essai expérimental original

Le volet expérimental de GALERNE a fourni des données qui ont été confrontées aux interprétations des outils numériques sur les conséquences des phénomènes dangereux. Cette démarche est destinée à s'assurer de la pertinence des modèles, qui simulent des situations sans pouvoir toujours prendre en compte la complexité de tels rejets. Se pose notamment la question de l'effet d'une grande nappe d'eau sur la vaporisation de la substance au point de rejet et sur la dispersion dans l'air de nuages massivement denses.

Pour étudier la formation des panaches gazeux et le comportement des gaz liquéfiés à partir de mesure et d'observations concrètes, l'INERIS a mis au point un dispositif expérimental original qui combine plusieurs moyens de mesure. Un bassin d'eau salée (20g/l de sel⁶) de 100 m³ et d'1 m de profondeur a été construit. L'eau est pompée et filtrée en permanence. Le point de rejet est situé au milieu du bassin et relié aux réservoirs de liquides par une canalisation flexible. Doté de générateurs de vent et de vagues, le dispositif a été équipé de mâts de mesure. La température et le taux d'hygrométrie ambiants ont été relevés avant et après chaque essai.



⁶ Par comparaison, l'eau de mer contient 35g/l de sel.

Le processus d'évaporation sur l'eau et dans l'eau, qui pourrait conduire à la formation d'une nappe, a été étudié grâce à une ligne de 10 thermocouples sur flotteurs, immergée en surface du bassin, pour mesurer la température. Chaque essai a été filmé à la caméra thermique pour mettre en évidence le flux thermique absorbé par la nappe ; des caméras grand angle ont été immergées pour déterminer si une partie de l'évaporation se produit sous l'eau près du point d'impact. Des thermocouples ont également été installés en profondeur à proximité du rejet.

Pour l'analyse de la formation et de la dispersion des panaches gazeux, le système a mesuré la concentration de gaz au moyen d'analyseurs d'oxygène à effet paramagnétique⁷ sur trois lignes de prélèvements. Six thermocouples ont fourni des données sur la température. Les effets de densité, susceptibles de modifier la turbulence de l'atmosphère et donc d'influer sur la dispersion de la substance, ont été analysés avec cinq sondes, capables de détecter les plus petites variations de pression. Les zones de rejet ont été filmées.

Les principaux enseignements des essais

Le dispositif expérimental a servi à effectuer 23 essais dans le cadre du programme GALERNE. Les substances utilisées étaient, pour des raisons de sécurité, non toxiques. Le GNL, dont le transport routier est interdit en France, a été remplacé par de l'azote liquide à -190°C pour étudier le comportement d'un hydrocarbure cryogénique. Des GPL sous pression à température ambiante, comme le propane et le butane, ont également été testés et le pentane a servi de référence pour les hydrocarbures évaporants⁸.

Ces essais confirment que les phénomènes d'évaporation et de dispersion de gaz en mer ne sont pas régis strictement par les mêmes lois de comportement que dans le cas de déversement sur un sol.

- Les fluides cryogéniques ou sous pression comme l'azote liquide, le butane et le propane, ne s'évaporent pas toujours sous forme d'une nappe à la surface de l'eau. Un cône de mélange se constitue sous la surface de l'eau au point où le jet de liquide se brise ; ce cône, siège de processus d'ébullition et d'échanges thermiques importants, induit des mouvements de masse d'eau et de surface (remontée de bulles). L'influence des vagues apparaît limitée.
- A cause de ce processus de vaporisation intense, les liquides à bas point d'ébullition (azote liquide, butane, propane) produisent des vapeurs dont la température est systématiquement plus élevée que le point d'ébullition. C'est une différence essentielle par rapport à un rejet survenant sur la terre ferme.
- Les liquides non stockés sous pression comme le pentane, en revanche, conduisent à la formation d'une nappe. L'influence des vagues semblent dans ce cas non négligeable : une augmentation du taux d'évaporation de plus d'un facteur 2 a été observée, alors que la surface de la nappe est moitié moins étendue que dans le cas d'une mer sans vague.
- Par ailleurs, la partie visible du panache ne correspond pas toujours à la zone dangereuse (zone inflammable). Des zones inflammables peuvent être mesurées en aval de la partie visible du panache, et dans certains cas où aucun panache n'est observé, les capteurs ont détecté un nuage inflammable. La présence d'un nuage visible dépend des conditions climatiques (point de rosée) et du point d'ébullition du liquide rejeté.
- Le processus de dispersion du panache n'a pu être nettement cerné : il semble que la densité des vapeurs soit un point-clé dans la compréhension des mécanismes. Pour les liquides cryogéniques, la condensation de la vapeur d'eau de l'atmosphère serait susceptible d'avoir un impact. Les gouttelettes d'eau entraînées par les bulles lors de la vaporisation pourraient aussi contribuer à alourdir les vapeurs, ce qui constituerait une autre spécificité des rejets en mer par rapport à la terre ferme.

⁷ Ces appareils permettent de déduire la concentration de gaz à partir de la mesure de la concentration en oxygène. Leur principe de fonctionnement s'appuie sur les propriétés paramagnétiques de l'oxygène pour détecter n'importe quel gaz mélangé à l'air.

⁸ La température d'ébullition de l'azote liquide se situe à -196°C, celle du propane à -42°C, celle du butane à -1°C et celle du pentane à 36°C.

Les pistes de résultats obtenues grâce à la modélisation numérique

Les simulations, réalisées à partir des 15 scénarii de fuite élaborés dans la première étape du programme, ont permis d'évaluer plusieurs outils de calcul. Pour étudier la dispersion atmosphérique des substances dans le « champ proche » (moins d'1 km de la source), les logiciels PHAST (DNV Software) et EVOLCODE (GDF Suez), ont été utilisés. En parallèle des travaux de l'INERIS, GDF Suez a effectué des calculs complémentaires au moyen du modèle MERCURE développé par EDF. Dans le cas de la dispersion atmosphérique dans le champ lointain, Météo France a couplé le modèle PHAST au modèle de grande échelle PERLE pour les gaz liquéfiés et le modèle PHAST au modèle MOTHY pour les liquides évaporants.

Pour la dispersion dans le champ proche, les simulations ont permis plusieurs observations :

- La connaissance des conditions de stabilité atmosphérique sont fondamentales pour définir les zones à risques (« zones d'exclusion »). Les distances d'effet peuvent en effet varier d'un facteur 10 à 30 selon les conditions météorologiques.
- Les gaz réfrigérés se comportent comme des gaz denses tant qu'ils sont froids, et de ce fait restent visibles dans un premier temps du fait de la condensation de l'humidité de l'air.
- L'ammoniac, le plus toxique des gaz étudiés, pourrait en surface présenter des zones de danger importantes, bien au-delà du champ proche (distance de l'ordre de 10 km) pour les seuils d'effets réversibles pour la santé. Cependant, son impact est susceptible d'être atténué par son fort degré de solubilité dans l'eau, paramètre qui n'est aujourd'hui pas pris en compte de manière précise par les modèles en général.
- L'impact des substances cryogéniques (méthane, éthylène...) sur la structure du navire n'est pas défini avec certitude, mais la fragilisation des aciers par les basses températures est un phénomène connu. Par ailleurs, dans certaines conditions, peut survenir une transition rapide de phase, ou « explosion froide », i.e. le passage quasi-instantané d'une phase liquide à une phase gazeuse au contact de la masse d'eau (expansion du volume de l'ordre de 600 fois dans le cas du méthane par exemple). Ce phénomène et ses conséquences (plutôt locales) restent difficiles à prédire.

Les travaux de modélisation, et leur confrontation avec les essais expérimentaux, ont souligné l'intérêt de coupler différents modèles (champ de dispersion proche – champ de dispersion lointain). Par ailleurs, GALERNE a permis d'éprouver les limites de l'apport de la modélisation pour saisir toutes les dimensions du comportement en mer des gaz liquéfiés et liquides évaporants. Certains codes de calcul ont tendance à surestimer les concentrations par sous-estimation du niveau de turbulence atmosphérique ; les outils numériques nécessitent d'être validés pour des rejets massifs en conditions réelles, notamment par le biais d'une confrontation à des données expérimentales obtenues sur des essais à grande échelle.

Ces essais à grande échelle pourraient permettre d'étudier des phénomènes d'explosion par transition rapide de phase et des effets de densité de panache capables de supprimer la turbulence atmosphérique dans la zone de dispersion, qui n'ont pu être observés à petite échelle.

La contribution aux « fiches Interventions »

Les principaux enseignements des essais expérimentaux et des simulations, par type de scénario, ont alimenté les « fiches Interventions », objet de la dernière étape du programme GALERNE. En mettant à profit l'expérience de sa Cellule d'Appui aux Situations d'Urgence (CASU), créée en 2003, l'INERIS a participé activement à la réalisation de ces fiches. Elles sont destinées aux services de secours en mer pour l'intervention d'urgence, afin d'assurer une prise de risque calculée, en fonction du sinistre.

Ces fiches synthétiques sont classées par familles de substances : Gaz Naturel Liquéfié (méthane), propane, éthylène, ammoniac, chlorure de vinyle monomère (CVM), benzène, xylènes.

Chaque fiche propose :

- une identification rapide des risques (classification du Guide Orange des Sapeurs Pompiers de Genève) ;
- les symboles de danger (code du Travail, Transport) ;
- les risques spécifiques liés au transport maritime ;
- les références à la substance dans les guides d'intervention ;
- les caractéristiques techniques des navires ;
- les risques liés au produit (caractéristiques physico-chimiques – explosivité, inflammabilité ; toxicité...) ;
- les risques liés à l'intervention (premiers secours, matériel de détection, mesure de lutte contre l'incendie...).
- le descriptif des scénarios d'accident et les zones d'exclusion en fonction des distances d'effet.

Le programme GALERNE : Gaz et Liquides Evaporants et Risques de Nuisances Environnementales et humaines

Le programme Gaz et Liquides Evaporants et Risques de Nuisances Environnementales et humaines (GALERNE) est financé par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du Programme Écotecnologies et Développement Durable (PRECODD). Il est coordonné par le Centre de Documentation, de Recherche et d'Expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux (CEDRE). Lancé en 2006, GALERNE s'est achevé en 2009.

L'objectif

Etudier les risques liés aux fuites en mer de gaz liquéfiés et de liquides évaporants en cas d'accidents maritimes et à partir des données recueillies, réaliser des fiches d'intervention pour les personnels des Equipes d'Evaluation et d'Intervention de la Marine Nationale.

Le champ d'étude de GALERNE a porté sur 7 substances chimiques, gaz liquéfiés et liquides flottants/évaporants : Gaz Naturel Liquéfié (méthane), ammoniac, chlorure de vinyle monomère (CVM), propane, éthylène réfrigéré, xylènes, benzène.

Les différents volets

Le programme est organisé en trois tâches distinctes, l'INERIS ayant particulièrement contribué aux tâches 2 et 3 (avec l'aide de sa Cellule d'Appui aux Situations d'Urgence).

La première tâche a consisté à élaborer 15 scénarii d'accidents à partir de l'analyse des données existantes (types de navires, substances transportées, accidentologie...). Ces scénarii tiennent compte de conditions météorologiques variées et de plusieurs diamètres de brèche dans la coque du navire (20 cm², 500 cm², 20 000 cm²). Quatre éléments ont été considérés dans chaque scénario : facteur initiateur, conséquences immédiates, facteurs aggravants, risque à moyen terme.

La seconde tâche a porté sur l'étude du comportement des gaz liquéfiés et des liquides évaporants libérés accidentellement en mer. Cette étude a combiné une approche de modélisation numérique et d'essais expérimentaux. Les outils de modélisation ont permis d'étudier la dispersion atmosphérique des gaz dans le champ proche et dans le champ lointain. Dans un deuxième temps, les panaches et leurs comportements ont été confrontés au réel grâce à un dispositif expérimental à échelle réduite. Enfin, l'évaluation du risque pour les personnels d'intervention a commencé à être abordée par le biais de simulations de pénétration de gaz dans les moyens de transport hélicoptères.

La troisième tâche du programme a consisté à élaborer des fiches synthétiques d'intervention, par famille de produits, à destination des services de secours en mer.

Les partenaires

Le CEDRE, l'INERIS, Bureau Veritas, Météo France (Groupe d'études de l'Atmosphère Météorologique -GAME- unité de recherches associée CNRS/Météo France), la Marine Nationale avec le Centre d'Expertise Pratiques de Lutte Antipollution (CEPPOL) et les Marins Pompiers de Brest, GDF Suez, le Bureau Enquête Accident Mer, la Direction de la Sécurité Civile (DSC) du Ministère de l'Intérieur. Le programme Galerne a reçu, en outre, le soutien financier de Total Petrochemicals et de Total Gaz et Energies Nouvelles.

Les réalisations

Les « fiches Interventions » relatives à l'intervention d'urgence en mer sont construites par familles de substances. Elles sont accompagnées de « fiches généralités » destinées à recueillir le maximum d'informations pertinentes sur les caractéristiques du navire, de la cargaison et les circonstances de l'accident.

Ces fiches doivent permettre de valider l'envoi d'une Equipe d'Evaluation et d'Intervention (EEI), sa composition, ses conditions de sécurité, les zones d'exclusion à respecter et les possibilités d'atteinte des populations côtières.

L'INERIS, au cœur de l'étude des phénomènes dangereux

Depuis l'origine, l'INERIS dispose d'une expérience dans l'évaluation et la gestion des risques accidentels liés aux activités industrielles. Les compétences de ses ingénieurs et techniciens sont le fruit de la mise en œuvre de programmes de recherche et du développement d'une expertise, mise à la fois au service des exploitants d'installations à risques et des autorités publiques en charge de contrôler les exploitations. Le savoir faire étendu de l'Institut dans le domaine accidentel est réparti en quatre champs d'expertise :

- l'étude des risques physico-chimiques inhérents aux substances et aux procédés industriels,
- l'évaluation des systèmes et des équipements de sécurité,
- l'analyse globale et la gestion intégrée des risques pour une installation industrielle,
- l'étude des phénomènes dangereux et de la résistance des structures à ces phénomènes.

L'étude des phénomènes dangereux à l'INERIS a pour vocation d'accroître et de diffuser des connaissances sur les mécanismes, les effets et les conséquences d'incendie, d'explosion et de dispersion de toxiques ou de gaz inflammables. Les équipes approfondissent également les connaissances sur la vulnérabilité du bâti à l'explosion, l'incendie et aux projections. Cette activité amène l'Institut à développer et mettre à disposition des outils de modélisation numérique. Par ailleurs, les experts de l'INERIS réalisent des essais à petite, moyenne et grande échelle, et proposent une ingénierie d'essai et la conception de dispositifs d'expérimentation sur mesure pour des essais industriels. Le savoir faire de l'Institut le conduit également, sur les questions relatives aux phénomènes dangereux, à participer à des études réglementaires (étude de dangers...) et à intervenir comme tiers-expert pour le compte des pouvoirs publics.

Les risques d'explosion et de dispersion de gaz toxiques ou inflammables

Les accidents industriels de ces vingt dernières années, en particulier celui de l'usine AZF à Toulouse en 2001, ont placé les besoins de sécurité au cœur des préoccupations, aussi bien des industriels que des pouvoirs publics. D'un point de vue scientifique, il reste encore de nombreux champs de recherche à explorer pour disposer d'une compréhension des mécanismes d'explosion et de dispersion suffisante pour être utilisable sur le terrain, dans des méthodes de prédiction. Ces recherches sont fondamentales pour la maîtrise des accidents industriels mais aussi dans l'accompagnement de l'innovation technologique durable (hydrogène comme vecteur d'énergie, nanotechnologies, captage-transport-stockage du CO₂...).

Dans cette optique, les équipes de l'INERIS étudient de nombreux phénomènes explosifs : explosions chimiques de produits solides (détonation), de gaz (Vapour Cloud Explosion –VCE) ou de poussières ; explosions physiques (changement de phase) ; explosion de gaz liquéfiés (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion –BLEVE) ; explosion de vapeurs ; auto-emballements.

Les thématiques sur lesquelles portent les recherches des spécialistes de l'Institut incluent l'analyse du processus de formation d'un nuage explosif (à l'air libre ou en milieu confiné) ; l'étude de la propagation de flammes en milieu industriel ; l'exploration des mécanismes d'amorçage d'une explosion (sources d'inflammation et degré d'inflammabilité) ; l'observation des processus de production de pression et de projection par les phénomènes explosifs. L'INERIS poursuit également des travaux sur les nouvelles techniques de mesure (concentrations de gaz et turbulence) ainsi que sur les moyens de protection et de prévention.

En complément, l'Institut s'intéresse aux phénomènes de dispersion atmosphérique de substances toxiques, dans le cas par exemple d'une rupture de canalisation ou de dégagement de fumées dues à une combustion. Ses experts étudient tous les aspects du phénomène de libération accidentelle d'un produit dans l'atmosphère : « terme source » (caractérisation et quantification du rejet), mécanismes physiques en jeu dans la dispersion, interactions dans le champ proche (moins d'1km de la source) avec d'autres phénomènes (conditions atmosphériques, obstacles, confinements...).

Les axes de recherche récents de l'Institut portent, entre autres, sur les outils de prédiction des effets d'une explosion. Le projet EXPRES, en collaboration avec le CNES, les universités de Poitiers et de Bourges, l'Institut Fraunhofer, Fike et Gexcon, a ainsi permis d'évaluer la pertinence et les limites de modèles numériques dans la simulation de la propagation de flammes consécutive à une explosion. Les équipes de l'INERIS travaillent également sur les risques explosifs liés à l'hydrogène comme vecteur d'énergie, par exemple sur les situations de fuite propres à l'usage de ce gaz dans les applications automobiles, dans le cadre des projets DRIVE coordonné par l'INERIS puis DIMITRHY coordonné par le CEA et avec la participation de PSA, de l'IRPHE, d'Hélium et d'Air Liquide.

La sécurité incendie et la résistance des structures

Activité « historique » de l'INERIS, l'étude des risques incendie englobe tous les aspects relatifs à la sécurité des structures et des individus vis-à-vis de ce type de phénomène. A partir de l'étude du « terme source », les experts de l'Institut étudient les effets thermiques (comportement des structures au feu, rayonnement dans l'environnement) et les risques liés aux fumées (stratégies de désenfumage et de ventilation, d'évacuation des personnes...).

Plusieurs phénomènes d'incendie font l'objet de recherche à l'INERIS : feux en milieu confinés (stockage, tunnels...) ; jets enflammés ; *boil-over* ; feu de solides ; feu de nappes.

Récemment, les équipes de l'INERIS ont ainsi travaillé sur la prévention du risque d'incendie au sein des plates-formes logistiques avec le projet FLUMILOG, en partenariat avec Afilog, le CNPP, le CTICM et GSE. Sa vocation : mieux connaître l'impact des flux thermiques lors d'un incendie d'entrepôt et développer une méthode calcul de référence des effets d'un incendie. Cette méthode permet d'adapter au mieux les dimensions des infrastructures, d'ajuster le dispositif d'écrans thermiques, de déterminer avec exactitude la distance de sécurité à respecter autour des installations. Le volet expérimental de FLUMILOG a notamment donné l'occasion d'effectuer une campagne d'essais à grande échelle sur un entrepôt de 860 m² et 12 m de hauteur pour mesurer les flux thermiques et observer le comportement des flammes.

La sécurité des transports souterrains est également un thème d'étude de l'Institut. Le programme EGSISTES, coordonné par l'INERIS et qui réunit le CEA, le Laboratoire de Mécanique et Energétique de l'Université de Valenciennes, la RATP et EGIS Tunnels a par exemple permis d'analyser la dispersion des fumées en milieu confiné. L'Institut a étudié, par le biais de modèles numériques et d'essais expérimentaux à échelle 1/3, l'influence d'éléments perturbateurs (présence de véhicules dans un tunnel, type de ventilation utilisé) sur la stratification des fumées. Par le biais d'EGSISTES, les stratégies d'intervention et la pertinence des systèmes de sécurité (ventilation) en cas d'incendie en tunnel routier ont ainsi été évaluées.

L'étude de la résistance des structures aux agressions comprend l'analyse de la réponse des structures à l'explosion, l'incendie, les projections, les séismes et les vagues. Ces travaux nécessitent l'analyse de la résistance des matériaux et de la conception des structures, la prise en compte des aspects dynamiques des phénomènes et l'examen du processus d'effondrement des structures. En collaboration avec le laboratoire de mécanique de l'Université de Marne-la-Vallée, les équipes ont notamment travaillé, à travers le projet IMFRA, sur l'impact de fragments sur une structure en tenant compte de « l'effet domino ». Le projet VULCAIN, démarré en 2008 pour trois ans, a également permis d'élaborer des modèles innovants pour l'étude du comportement des réservoirs à l'impact et à l'explosion.

Etude des phénomènes dangereux : les moyens d'essais à l'INERIS

L'INERIS développe une approche qui couple la modélisation numérique et l'expérimentation à diverses échelles. Pour l'étude des phénomènes dangereux, l'Institut dispose de moyens d'essais parmi les plus importants en France.

Les capacités expérimentales

Explosion

L'INERIS dispose d'une plate-forme d'essai sur le site de Montlville à Verneuil-en-Halatte (Oise).



Zone d'essais de dispersion, d'explosion ou d'incendie de gaz et liquides inflammables



Galerie pour tests d'explosifs et essais d'explosion de poussières jusqu'à 150 b



Enceinte pare-éclats pour des essais d'éclatement de structures sous l'effet d'une explosion ou d'un incendie



Laboratoire d'inflammation



Galerie de 150 m (10 m² d'ouverture) pour tests de ventilation et/ou de détecteurs de gaz



Tube d'explosion (diamètres 10-25-40) de diverses longueurs (3 à 30 m)



Chambre 2m³ (-200°C / 200b)



Chambre d'explosion 1 m³ et 10 m³



Chambre d'explosion 100 m³

Incendie – Dispersion de gaz

Les capacités d'essais incendie sont rassemblés au siège de l'INERIS sur le site de Verneuil-en-Halatte (Oise), mais des essais sur site sont régulièrement réalisés, notamment en tunnel.



Maquette « froide » de 15 m à échelle 1/18ème pour modéliser des dispersions de gaz chauds (fumées) ou denses (rejets toxiques)



Galerie à incendie de 50 m pour réaliser des essais de combustion jusqu'à une puissance dégagée de 10 MW (en maîtrisant les rejets dans l'atmosphère par une « tour de lavage »)



Calorimètre de Tewarson pour qualifier le comportement d'une substance en cas d'incendie (paramètres thermiques et chimiques)

Les modèles numériques

Explosion

Tous les outils de simulation développés à l'INERIS (I) ont été validés sur des bases expérimentales. L'INERIS utilise les logiciels PHAST (DNV) et EXORIS (I) pour la formation de nuages ; EXPRES (I) pour la propagation de flammes, les codes MISSILE (I), PROJEX (I), DIFREX (I) et SECONDE (I) pour l'évaluation des effets d'une explosion ; EFFEX (I) pour les effets d'explosion en milieu confiné et les moyens de protection à mettre en œuvre ; BIGEXP (I) et DECALOR (I) pour la métrologie.

Dispersion de gaz

Sont utilisés les modèles PHAST (DNV), PHOENICS (CHAM) et ARIARISK (ARIA Technologies), parmi d'autres, pour la dispersion de gaz toxiques et/ou inflammables. L'Institut a développé le modèle NewVendis® pour l'étude de la dispersion de fumées en milieu confiné, capable de prévoir les comportements dynamiques globaux d'un ouvrage simple (géométrie tubulaire type tunnel routier ou ferroviaire) ou complexe (réseau maillé type métro).

Incendie

L'INERIS est un spécialiste des codes à champs comme le code FDS (NIST), qui intègre en 3D un modèle de combustion, des modèles d'échanges de chaleur et des modèles de turbulence. FDS peut simuler des phénomènes fluides, chimiques, thermiques et des actions externes. Les équipes ont également recours au code FNAP (I) pour les feux de solides et de nappe, PHAST (DNV) pour les feux torches et SAFIR (ULg) et ROBOT (Autodesk) pour la résistance des structures à l'incendie.

Le rôle de l'INERIS

dans l'appui aux situations d'urgence

La Cellule d'Appui aux Situations d'Urgence (CASU)

L'INERIS a créé en 2003 une Cellule d'Appui aux Situations d'Urgence (CASU) qui met, en temps réel et 24h/24, les compétences scientifiques et techniques de ses ingénieurs et chercheurs à la disposition des Ministères, des services déconcentrés du Ministère chargé de l'Environnement et des services d'intervention de la Sécurité Civile (pompiers...). L'intervention de la CASU en tant qu'aide à la décision pour les autorités publiques est établie par la circulaire interministérielle du 15 juillet 2005.

En situation d'urgence, en cas de danger à caractère technologique avéré ou imminent pour l'homme ou l'environnement, la CASU apporte aux autorités publiques ou aux industriels une aide à la décision immédiate. À leur demande, elle délivre en temps réel les informations et avis techniques dont ils ont besoin pour mieux appréhender et gérer la situation accidentelle (hors risques radiologiques et biologiques). Son système d'astreinte met en jeu deux permanents spécialisés, assurant le contact technique avec le demandeur et un chef d'opération représentant la Direction Générale de l'INERIS. La CASU peut, selon les domaines d'intervention, mobiliser tout ou partie des capacités d'expertise de l'Institut.

La CASU s'appuie sur un réseau de partenaires susceptible d'être consulté pour la recherche d'éléments de réponse dans certaines situations d'urgence : des accords ont été signés avec le CEDRE et l'IRSN. Une convention avec la Cellule Ministérielle de Veille Opérationnelle et d'Alerte (CMVOA) du MEEDDM a été mise en place, avec pour objectif d'améliorer la gestion de la pré-alerte grâce à un bulletin d'information émis par la CMVOA à destination des permanents d'astreinte de la CASU en cas d'occurrence d'un événement accidentel à caractère chimique.

Le fonctionnement de la CASU et la coordination avec les différents partenaires de la gestion de crise sont régulièrement testés lors d'exercices, nationaux et internationaux, de simulation d'accident. En 2008, deux journées d'exercice réunissant l'ensemble des permanents d'astreinte ont été organisées. Des binômes d'astreinte ont été constitués avec simulation de réponse à quatre sollicitations distinctes basées sur des appuis déjà traités par la CASU.

Les principales missions de la CASU sont les suivantes :

- Transmission d'informations sur les substances directement impliquées ou susceptibles de se former pendant l'accident (composants de fumées, produits de décomposition...).
- Transmission d'informations sur des accidents passés et analogues à l'événement.
- Analyse des risques selon la caractéristique de l'événement.
- Caractérisation des phénomènes dangereux et modélisation de leurs effets.
- Évaluation des risques liés au dispositif de lutte contre le sinistre, en concertation avec les services de secours et ceux en charge de la gestion de l'accident.

En 2008, le nombre des sollicitations en situation d'urgence auprès de l'INERIS a connu une forte augmentation, confirmée en 2009, par rapport aux années précédentes (48 appuis en 2008 et 41 en 2009 contre 28 en 2007). Cette augmentation est encore plus marquée pour les appuis sur cas réels (35 appuis réels en 2008 et 30 en 2009 contre 14 en 2007). Ces demandes représentent globalement une progression de 70% en regard de 2007 et de 150% pour les appuis réels. Les appels émanent pour moitié de la Sécurité Civile (SDIS, CODIS, COGIC), et pour un quart des Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL). Les autres sollicitations ont été initiées par le MEEDDM (4%), un industriel (2%), un préfet (4%) et autre (9%).

Depuis sa création, la CASU recherche des outils informatiques réellement adaptés à l'urgence et capables de répondre, en une dizaine de minutes au maximum et de manière précise, à un ensemble de thèmes très différents et avec souvent peu d'informations. En 2008 a été installé le portail de ressources CasuBox développé en interne pour les besoins de la Cellule : il améliore de manière significative sa rapidité de réponse. Par ailleurs, l'interfaçage du logiciel SLAB a été réalisé afin de répondre à l'urgence via des questions simples et des variables observables.

L'INERIS est par ailleurs membre du Groupement d'Intérêt Scientifique d'aide à la gestion des crises, AGECRIS. Ce groupement est destiné à conduire, élaborer et coordonner des programmes de recherche et développement associés à l'amélioration des connaissances en cas de crise mettant notamment en œuvre des moyens de secours.

La contamination accidentelle de l'environnement

En situation d'urgence, les phénomènes physiques (explosion, incendie...) ne constituent pas le seul risque pour la santé et l'environnement. Les problématiques de pollution, liée notamment aux substances chimiques, constituent une préoccupation aussi importante.

L'INERIS fournit un appui technique aux services d'intervention sur la contamination de l'environnement et l'exposition des personnes en cas d'accident (type de prélèvements à effectuer, modes de prélèvements à suivre, laboratoires locaux ou nationaux à contacter...). Une intervention concrète sur le terrain peut s'avérer nécessaire pour prélever des échantillons de sol, de végétaux, d'eau... En effet, réaliser des prélèvements « conservatoires » dès la phase aiguë de l'accident est indispensable (par exemple pour savoir ce que les riverains ont pu respirer, ou distinguer la contamination due à l'accident de la pollution préexistante). Une analyse chimique est ensuite requise pour identifier et quantifier précisément les polluants, afin d'estimer si les risques sont acceptables ou non.

Pour répondre à des situations exceptionnelles, l'INERIS mobilise ses équipes sur le terrain. Spécialistes de la qualité de l'air, de la contamination des milieux aquatiques et des sols pollués organisent des plans de prélèvement sur le terrain. L'Institut s'appuie sur ses moyens mobiles (LIDAR embarqué, camion de mesure de l'air ambiant...), ses équipements de laboratoire, ses outils de modélisation des phénomènes accidentels et des transferts de pollution.

Ces moyens ont par exemple permis d'évaluer l'impact sanitaire après l'incendie d'un dépôt de produits phytosanitaires à Béziers (2005) et de répondre aux questions des autorités, des riverains, des membres de la Commission Locale d'Information. Plus récemment, l'INERIS a pu intervenir sur une pollution par les dioxines autour de Redon (2007) pour en déterminer les causes. En parallèle, l'INERIS procède à des interventions avec des partenaires comme le CSTB sur les questions d'air intérieur dans des lieux publics, écoles notamment.

L'INERIS en bref

20 ans d'existence et 60 ans d'expérience : un expert héritier d'un savoir-faire issu des secteurs des mines, de l'énergie et de la chimie.

L'INERIS, établissement public à caractère industriel et commercial placé sous la tutelle du ministère chargé de l'environnement, a été créé en 1990. Il est né d'une restructuration du Centre de Recherche des Charbonnages de France (CERCHAR) et de l'Institut de Recherche Chimique Appliquée (IRCHA), et bénéficie d'un héritage de plus de 60 ans de recherche et d'expertise reconnues.

- Un effectif total de 582 personnes dont 338 ingénieurs et chercheurs.
- 40 spécialistes des géosciences basés à Nancy dans le cadre d'activités de recherche et d'expertise sur les risques liés à l'Après-Mine.
- Un siège dans l'Oise, à Verneuil-en-Halatte : 50 hectares, dont 25 utilisés pour des plates-formes d'essais, 25 000 m² de laboratoires.

Domaines de compétence : <ul style="list-style-type: none">▪ Risques accidentels : sites Seveso, TMD, malveillance, dispositifs technologiques de sécurité, GHS▪ Risques chroniques : pollution de l'eau et de l'air, sols pollués, substances et produits chimiques, CEM, REACH, environnement-santé▪ Sols et sous-sols : cavités, après-mine, émanations de gaz, filière CCS▪ Certification, formation, outils d'aide à la gestion des risques	Activité (quelques chiffres) : <ul style="list-style-type: none">▪ Recettes : 69 M€ en 2009▪ Recherche amont et partenariale : 21 %▪ Appui aux pouvoirs publics : 62 %▪ Expertise réglementaire : 17 %▪ Expertise conseil ▪ 3 M€ de CA à l'export en particulier en Europe et en Afrique méditerranéenne.
--	---

Une déontologie et une gouvernance reconnues de longue date

- Des règles de déontologie encadrent l'indépendance des avis de l'INERIS. Un comité indépendant suit l'application de ces règles et rend compte chaque année depuis 2001 directement au Conseil d'Administration.
- Un conseil scientifique et des commissions scientifiques évaluent les projets de recherche ainsi que les équipes depuis 1997. Un comité d'éthique suit les pratiques de recours et d'essais en animalerie.
- L'INERIS est certifié ISO 9001 : 2000 depuis 2001 ; plusieurs laboratoires disposent d'agrèments COFRAC ou BPL.

Acteur de l'Europe de la recherche, l'INERIS s'intègre à l'Europe de l'expertise

- L'INERIS assure le secrétariat de la plate-forme European Technology Platform on Industrial Safety qui rassemble plus de 150 partenaires publics ou privés. Son succès a conduit la DG Recherche à confier à ETPIS des thématiques telles que les nanotechnologies.
- L'Institut est engagé dans plusieurs partenariats pérennes issus de projets européens : le GEIE EU-Vri avec la fondation allemande Steinbeis (plus de 100 M€ en 2006 en recherche partenariale), L-Surf Services (partenaires suédois, allemands et suisses)...

Une démarche de développement durable

Conformément au Contrat d'objectifs le liant avec son autorité de tutelle, l'INERIS a engagé une démarche de développement durable qui repose sur une recherche d'économies et de pratiques éthiques : un accord d'entreprise en faveur du travail des handicapés a par exemple été signé en septembre 2007 et un audit énergétique a été réalisé afin de veiller à une utilisation optimale des énergies.