



## Produits dangereux : recherche et essais normalisés

Jean-Philippe Pineau, Roger Cabridenc, Dominique Lafon

► **To cite this version:**

Jean-Philippe Pineau, Roger Cabridenc, Dominique Lafon. Produits dangereux : recherche et essais normalisés. ASTELAB 1995 "Simulation de l'environnement et maîtrise des risques industriels et technologiques (MAIRIT)", May 1995, Paris, France. pp.333-338. ineris-00971925

**HAL Id: ineris-00971925**

**<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00971925>**

Submitted on 3 Apr 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**PRODUITS DANGEREUX : RECHERCHE ET ESSAIS NORMALISÉS**

par

PINEAU J.P., CABRIDENC R., LAFON D. / INERIS

RESUME	ABSTRACT
<p>Dans cette mise au point, les méthodes de caractérisation des produits dangereux seront abordées en soulignant l'importance des recherches encore nécessaires. Puis l'estimation des risques sera examinée, compte tenu des conditions de déroulement des phénomènes impliquant ces produits à l'échelle industrielle, en faisant référence aux possibilités de la modélisation et à la validation expérimentale des modèles. Enfin, les mesures de sécurité (prévention et protection) seront décrites.</p>	<p>This review will first deal with characterisation methods for dangerous materials. Emphasis will be given on current research needs. Risk assessment will be linked with the development of phenomena implying these materials at industrial scale and referring to modelling and experimental validation. Then, safety measures (prevention and protection) will be described.</p>

**MÉTHODES DE CARACTÉRISATION DES PRODUITS DANGEREUX**

Lors de la fabrication, du stockage, du transport et de l'emploi de produits chimiques, il peut se produire accidentellement des incendies, des explosions et des dispersions et disséminations de polluants dans l'environnement au sein des eaux, des sols, de l'atmosphère. Les pollutions en cas d'accident ou d'incident de fabrication sont susceptibles d'engendrer de graves nuisances pour l'homme et pour les populations constituant les écosystèmes. Il s'avère aujourd'hui indispensable de prévoir et d'évaluer les dangers présentés par ces produits.

Les caractéristiques d'inflammabilité, d'explosibilité, de combustibilité sont associées aux propriétés physico-chimiques des produits. Les propriétés toxicologiques à examiner sont liées aux effets aigus, létaux ou non, après une exposition unique de courte durée. Dans le domaine de l'écotoxicité, pour évaluer les phénomènes dangereux susceptibles de concerner les écosystèmes aquatique et terrestre, on se base essentiellement sur la réalisation d'essais de laboratoire.

Les directives concernant la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses (67/348/CEE) et l'évaluation des risques des substances chimiques (93/67/CEE) ainsi que les réglementations du transport des matières dangereuses (RID-ADR\*, IMDG\*\*, etc.) ou des recommandations OCDE présentent des méthodes de base mises en oeuvre à l'INERIS qui permettent de faire une classification des produits. La majorité de ces méthodes est effectuée dans des laboratoires qui ont obtenu l'accréditation du Réseau National d'Essais (devenu Comité Français d'Accréditation) et reconnu comme travaillant selon les Bonnes Pratiques de Laboratoire par le Groupe Interministériel des Produits Chimiques (GIPC).

Ces méthodes de base ne permettent pas de caractériser complètement le risque industriel ; l'analyse complète de celui-ci est une nécessité et repose sur la réalisation, pour le cas accidentel, d'une étude des dangers et, pour l'exploitation normale, d'une étude d'impact sur l'environnement, conformément à la réglementation sur les installations classées pour la protection de l'environnement.

Il faut enfin noter que certaines catégories de produits sont exclues de ces directives, parce que déjà couvertes par d'autres législations communautaires. Ce sont notamment les médicaments, les produits cosmétiques, les substances radioactives, les denrées alimentaires, les aliments pour animaux, les pesticides, les déchets, les explosifs. La directive 67/548 ne s'applique pas au transport des matières dangereuses, matières couvertes par des conventions et accords internationaux.

**Inflammabilité - Explosibilité**

Il faut considérer d'une part les substances explosives (qui n'ont pas besoin généralement de la présence d'oxygène ou d'un comburant pour se décomposer) et d'autre part les substances combustibles qui doivent être en mélange avec un comburant.

Pour les substances explosibles (explosifs proprement dits et substances dangereuses), les méthodes permettant de caractériser l'amorçage par choc, frottement, effet de la température (flamme, étincelle) et les conditions de propagation (détonation ...) sont maintenant bien établies pour les substances solides ou liquides. Certaines d'entre elles sont indiquées dans la Directive 67/548. Des recherches sont toujours en cours, notamment à l'INERIS, sur les mélanges sous forme de suspension ou d'émulsion et les liquides à l'état de cavitation (présence de bulles gazeuses), sur les limites de détonabilité et sur la prévision des propriétés intrinsèques, notamment par utilisation des réseaux neuronaux.

\* BARPI : Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles

Pour les substances combustibles qui, en mélange avec l'air ou divers comburants, peuvent former des atmosphères explosives, des méthodes de laboratoire sont utilisées de longue date pour caractériser l'inflammation et le déroulement de l'explosion. Toutefois, certaines méthodes de base retenues à l'INERIS et utilisées dans les principaux organismes mondiaux ne sont pas prises en compte dans la classification mentionnée précédemment ; des travaux de normalisation impliquant des essais interlaboratoires sont cependant en cours au sein du comité technique CEN 305 qui traite des méthodes d'essais pour déterminer les caractéristiques d'inflammabilité.

L'INERIS a travaillé sur la définition d'un appareil pour l'examen des explosions de poussières et notamment de l'effet de la turbulence sur celles-ci, de même que sur les limites d'explosivité et les courbes de déroulement des explosions. Des recherches ont aussi concerné récemment le risque d'inflammation par étincelle d'origine électrostatique et lors de l'utilisation des lasers.

### Combustibilité

En ce qui concerne le développement de la combustion, il est important de disposer d'un test de laboratoire qui permette de définir la vitesse de la combustion. Des données sont disponibles dans le cas des liquides (en fait principalement hydrocarbures), mais ne permettent pas toujours de qualifier correctement ce qui se passe à l'échelle industrielle. Pour les produits solides, les méthodes indiquées dans la directive 67/548 et les méthodes calorimétriques à différentes échelles (notamment au cône calorimètre ou avec l'appareil de Tewarson) fournissent des indications sur les produits de décomposition et des données thermiques (flux, température maximale atteinte). L'extrapolation des données chimiques est sujette à caution, compte tenu de la nécessité d'avoir une masse critique de produit qui permette d'assurer que le caractère "autoporteur" de l'incendie est bien atteint. De plus, les conditions d'environnement (rôle du confinement et de la ventilation ...) ne sont bien sûr pas prises en considération dans ces essais, ni généralement la nature et l'importance des fumées produites.

Pour pouvoir effectuer des extrapolations plus réalistes, il faut recourir à d'autres tests que ceux de la Directive mentionnée plus haut avec des masses plus importantes dans des locaux en béton armé ou des calorimètres géants ou des tunnels ventilés. De tels essais prévus en tunnel ventilé dans le cadre du programme européen Mistral II permettront d'acquérir des données extrapolables sur les feux de produits chimiques présentant un fort potentiel toxique (solvant azoté, isocyanate aromatique et pesticide).

### Toxicité

Les tests, mentionnés dans la Directive 67/548/CEE ont pour but d'étudier divers effets :

- . la létalité, lors d'une exposition de 4 heures : on calcule la dose létale 50 (DL 50), dose mortelle pour la moitié des animaux, soit par voie orale, soit par voie cutanée, ou la concentration létale 50 (CL 50), concentration mortelle pour la moitié des animaux par inhalation

- . les effets toxiques lors d'exposition sub-chronique (28 jours) ou chronique (3 mois) par voie orale, cutanée ou par inhalation. Ces essais ont pour but d'étudier les effets d'expositions répétées. Ils ont l'avantage de ne pas se reposer sur une simple constatation de la mortalité, mais de comporter des examens biochimiques. Leurs résultats peuvent également aider à évaluer la toxicité d'un produit lors d'une exposition aiguë, en mettant en relief certains effets pathologiques

- . les effets d'irritations cutanées et oculaires. Ces tests normalisés permettent de prévoir l'effet irritant d'un produit sur l'homme.

L'INERIS pratique également des études complémentaires d'irritation pulmonaire par des gaz (test d'Alarie). Il étudie les effets mutagènes, généralement par des tests sur bactéries ainsi que par des tests non bactériologiques pour mettre en évidence les aberrations ou dommages chromosomiques. Il met aussi au point un test permettant de prédire l'effet incapacitant des produits, notamment pour le cas des fumées d'incendies .

Dans le cadre accidentel, il serait indispensable de disposer de données toxicologiques pour des temps d'exposition très courts (10 minutes à 1 heure). Nous avons vu que les tests réglementaires sont basés sur une exposition de 4 heures. L'INERIS travaille actuellement à un protocole expérimental qui permettrait d'étudier l'effet toxique sur des temps d'exposition plus courts et donc représentatifs du phénomène accidentel.

Par ailleurs, il est nécessaire, dans un certain nombre de cas, de comprendre le mécanisme toxique afin de pouvoir agir de manière préventive ou curative. L'INERIS mène un certain nombre d'études dans ce domaine, notamment dans le cadre de la toxicité des fibres, des poussières ou de l'ozone.

Tous ces tests, généralement sur rongeurs, sont bien entendu réalisés suivant des règles éthiques très strictes et ne sont effectués qu'en cas de nécessité absolue et de bénéfice attendu pour l'homme. Actuellement, il n'est malheureusement pas possible de se passer de tels tests pour étudier l'effet toxique d'un produit. L'INERIS travaille cependant à des tests in vitro qui permettraient d'éliminer ou de diminuer l'utilisation des animaux.

\* RID-ADR : accords européens pour le transport des matières dangereuses par fer (RID) et par route (ADR)

\*\* IMDG Code Maritime International des marchandises Dangereuses

## Ecotoxicité

L'évaluation des concentrations auxquelles différentes populations pourraient être exposées (P.E.C. Predicted Environmental Concentrations) dans les eaux ou les sols est basée sur :

- l'étude des propriétés physico-chimiques (solubilité, volatilité, coefficient d'adsorption, etc.) qui fournit des informations sur le comportement des substances chimiques et sur leur répartition dans les différents compartiments de l'environnement, notamment sur les transferts possibles soit entre les sols et les nappes phréatiques, soit entre les sédiments et les eaux superficielles ou les nappes phréatiques

- la réalisation d'essais de dégradation (hydrolyse) ou de biodégradation par les microorganismes aérobies ou anaérobies des eaux et des sols selon des scénarios représentatifs de différentes conditions (auto-épuration dans les eaux ou les sols, traitement en station d'épuration). De tels essais fournissent des informations sur les possibilités de transformation des molécules étudiées (dégradation primaire ou ultime) et sur les risques de persistance dans l'environnement.

L'évaluation des effets écotoxiques les plus divers (effets létaux, inhibition de la croissance ou de la reproduction, effets génotoxiques, modification du comportement, etc.) attribuables à une agression est basée sur la réalisation d'essais de laboratoire. Il s'agit de modèles de laboratoire simples et conventionnels portant sur des populations représentatives des différents niveaux trophiques des écosystèmes : bactéries, microcrustacés, lombriciens, poissons, algues et végétaux .

Ces essais utilisent des méthodes standardisées ou reconnues au niveau national ou international : normes AFNOR, CEN, ISO, lignes directrices OCDE, directives européennes sur les substances chimiques.

Ces essais d'écotoxicité sont souvent complétés à l'INERIS par des études ayant pour but la mise en évidence des possibilités de bio-accumulation des substances chimiques, soit directement, soit par l'intermédiaire des chaînes alimentaires (détermination du coefficient de partage octanol-eau, application de modèles expérimentaux).

## ESTIMATION DU RISQUE : SCÉNARIOS ACCIDENTELS

Les méthodes de caractérisation que nous venons de décrire, couplées à un examen des conditions d'implantation et de fonctionnement de l'installation où le produit est fabriqué, transformé ou stocké, permettent de définir les scénarios accidentels d'incendie, de feux et de fuites (émission dans l'air et rejet dans l'eau et les sols).

Certains de ces scénarios sont notamment décrits dans un guide publié en 1990 par le Ministère de l'Environnement : explosions de type BLEVE, UVCE , d'un dépôt de substance explosible ou d'une atmosphère explosible à l'intérieur de capacités, fuite à la suite d'une perte totale et instantanée du confinement ou de rupture de la plus grosse canalisation d'une installation, feu dans la plus grande cuvette, boule de feu et projection de produit enflammé par suite d'un "boil over" ... Des accidents sur des sites industriels ou lors de transport attestent de la réalité de tels scénarios.

On pourrait y ajouter les feux de stockage de produits chimiques qui peuvent entraîner la dispersion de fumées toxiques et les réactions d'emballement. Quand ils sont pertinents, ces scénarios sont à traiter dans les études des dangers ou dans les analyses critiques de celles-ci en prenant en compte la gravité des effets prévisibles, la probabilité d'occurrence, l'emploi de mesures de prévention et d'atténuation des effets.

Pour estimer comment ces scénarios accidentels peuvent se dérouler, les analyses par arbres de défaillance permettent de mettre en évidence les séquences où des équipements ou appareils de l'installation sont impliqués. L'examen de la fiabilité et de la sécurité de ces systèmes a notamment permis la mise en place par l'INERIS, en partenariat avec Technicatome, d'un Laboratoire de Sécurité des Systèmes Electroniques. Une application a concerné des systèmes automatisés. Dans tous les cas, compte tenu d'exigences de sûreté de fonctionnement définies dans un cahier des charges qui intègre au mieux les travaux de normalisation internationaux, un rapport d'évaluation peut être fait.

La modélisation physique ou numérique des scénarios envisageables a fait l'objet de longue date de travaux importants qui sont indispensables par ailleurs pour préparer les travaux expérimentaux à petite, mais surtout à grande échelle, afin de vérifier la validité de tels modèles.

## Modélisation de fuite à l'air libre ou en espace confiné et de la toxicité

Dans le domaine des fuites de gaz combustibles à l'air libre, l'INERIS a pu mettre au point une méthode permettant de déterminer l'importance des volumes inflammables formés et les effets produits par l'explosion de ces mélanges. Des développements sont en cours pour prendre en compte les gradients de concentration dans les mélanges et la présence d'obstacles.

En ce qui concerne la formation de nuages toxiques à la suite de fuites à l'air libre, il faut d'abord retenir une concentration à partir de laquelle le risque existe. Pour cela, il est indispensable de retenir une valeur limite. On utilise le plus fréquemment comme valeurs guides les seuils IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health Concentration) édités par le NIOSH\*. Ils représentent les concentrations maximales à partir desquelles une personne à son poste de travail, en l'absence de protection respiratoire, peut s'échapper en 30 minutes sans ressentir d'effets irréversibles pour la santé ou d'effets de "sidération". Ils permettent donc de déterminer s'il faut utiliser ou non une protection respiratoire en cas de présence d'un produit chimique dans l'atmosphère.

Compte tenu du caractère déjà ancien d'un certain nombre de ces données, du fait qu'elles visent des personnes à leur poste de travail, et de leur inadéquation pour des temps d'exposition courts, d'autres valeurs guides ont été proposées : les Emergency Response Planification Guideline (ERPG) développées par l'American Industrial Hygiene Association (AIHA), les Emergency Exposure Guidance Levels (EEGL) ou Short Term Public Emergency Guidance Levels (STPEGL) par la US National Academy of Sciences, les Emergency Exposure Indices (EEI) de l'European Chemical Industry Ecology and Toxicology Center (ECETOC). Ces nouvelles valeurs ont pour but de caractériser de manière plus fine la toxicité d'un produit pour un temps d'exposition court et vis-à-vis de l'ensemble des populations. L'INERIS développe actuellement, avec le Ministère de l'Environnement et les industriels, un travail sur le choix de ces valeurs limites (définition, utilité, moyen de les fixer).

Ces valeurs seuils étant choisies, il est indispensable de retenir un mode de calcul des débits de fuite et de la dispersion, validé par rapport aux conditions environnementales de l'installation (géométrie de l'installation, relief environnant, conditions météorologiques ...). Pour la modélisation d'une fuite, beaucoup de travail reste encore à faire pour connaître les conditions de formation de mélanges toxiques lorsque des aérosols et brouillards sont émis. Il est aussi indispensable d'améliorer les moyens de modélisation du développement des incendies et de la dispersion des fumées produites aussi bien à l'air libre que dans des bâtiments ou dans des tunnels.

#### **Modélisation d'explosions internes**

Pour des explosions à l'intérieur d'équipement, des modèles permettant de prendre en considération l'influence de la turbulence sur le développement des explosions de gaz et de poussières inflammables sont en cours de mise au point.

Les effets des explosions sur les constructions et les équipements, lorsque les configurations sont complexes, nécessitent le recours à des logiciels où sont pris en considération la modélisation de l'explosion (qui peut être une déflagration ou une détonation) et la sollicitation de la structure conduisant à son éclatement, voire à la formation de fragments et à leur projection. Dans des cas simples, des modalités de calcul ont pu être définies à l'INERIS et utilisées avec succès.

#### **Modélisation d'incendie**

Dans le domaine des incendies, où sont à envisager notamment les feux de torche, les feux de nappes d'hydrocarbures ou de gaz liquéfiés, le rayonnement thermique peut généralement être calculé correctement. Pour les feux de nappes d'autres liquides inflammables et de solides à bas point de fusion (soufre, de nombreuses spécialités agropharmaceutiques), le recours aux modèles existant est plus délicat, compte tenu de la difficulté d'évaluer le déroulement de l'incendie. La validation expérimentale dans des tests sur masse importante s'impose. Pour les boules "transitoires" de gaz, qu'elles soient dues à un flash adiabatique, un "boil over", un BLEVE, la vérification expérimentale de la validité de la modélisation reste à faire.

#### **Modélisation de l'écotoxicité**

Du fait de la simplification considérable et du choix conventionnel des conditions expérimentales des essais d'écotoxicité, l'extrapolation des données obtenues au laboratoire aux conditions naturelles reste difficile.

Dans les méthodes de caractérisation décrites précédemment, on détermine les concentrations PEC auxquelles différentes populations dans les eaux et les sols sont exposées. Parallèlement, à partir des essais d'écotoxicité proprement dits, compte tenu de facteurs de sécurité dus à l'incertitude des méthodes et à leur représentativité limitée, il est possible d'estimer les concentrations qui, dans un compartiment de l'environnement donné, ne seront pas responsables d'effets à court ou à long terme vis-à-vis de l'écosystème (P.N.E.C. Predicted No Effect Concentrations).

L'examen du rapport PEC/PNEC permet d'aboutir à un premier niveau d'évaluation des risques et de prendre les mesures nécessaires pour supprimer ou limiter les impacts, éventuellement d'envisager des recherches complémentaires dans le but d'affiner une telle évaluation.

En effet, la complexité des écosystèmes, le grand nombre de populations constituant les biocénoses et l'extrême diversité des biotopes où apparaissent simultanément un grand nombre de substances xénobiotiques et naturelles ne peuvent être pris en considération dans des essais de laboratoire.

Ainsi, l'INERIS poursuit des travaux mettant en jeu des microcosmes de laboratoire et des mésocosmes installés dans des conditions environnementales naturelles. De tels dispositifs expérimentaux permettent de mieux simuler les écosystèmes représentatifs des milieux naturels, de suivre au cours du temps le comportement et le devenir des polluants, ainsi que leurs effets immédiats ou retardés vis-à-vis de l'écosystème lui-même. Il est ainsi possible d'aboutir à une meilleure prévision des risques consécutifs au rejet ponctuel ou continu d'un produit chimique ou du rejet accidentel d'un effluent, d'une grande quantité de produit ou des eaux utilisées pour l'extinction d'incendies.

\* National Institute for Occupational Safety and Health

## MESURES DE SÉCURITÉ : PRÉVENTION ET PROTECTION

Les phénomènes examinés concernent des installations de fabrication, de stockage, de transformation ... où des opérations mettent en oeuvre plusieurs types d'appareils avec des pressions, des températures, des flux traités variant dans de larges limites. C'est bien sûr au stade de la mise au point, puis de l'expérimentation sur pilote que les domaines de stabilité de fonctionnement, la fiabilité et la disponibilité des dispositifs de contrôle et de commande, l'appréciation des performances globales du système et les dérives possibles sont à qualifier. Il ne peut être ici question d'examiner en détail toutes les mesures à prendre.

Nous examinerons maintenant, pour le domaine des installations fixes, les dispositifs de prévention.

### Détection

Pour les capteurs choisis en fonction des scénarios accidentels possibles et de leur déroulement, doivent être pris en compte les modalités de leur implantation, leur délai de réponse, leurs conditions de fonctionnement (température, pression, humidité, atmosphère explosive, mélanges de produits ...). Les aspects robustesse du capteur, reproductibilité de la mesure et maintien opérationnel du fonctionnement au cours du temps sont à examiner.

Dans le domaine des explosions de gaz et vapeurs combustibles, l'utilisation de détecteurs explosimétriques basée sur la combustion catalytique ou d'autres phénomènes (conductivité thermique, réaction électrochimique, semi-conductivité ...) a été développée de longue date et permet d'obtenir la composition en gaz de l'atmosphère.

L'INERIS a participé au développement et à la mise au point de différents types de capteurs en définissant ensuite leurs conditions d'emploi. Il a notamment mis au point un détecteur permettant d'identifier le(s) gaz combustible(s) présent(s). Les caractéristiques métrologiques nécessaires ont notamment été reprises dans une norme européenne. Les règles d'implantation sont encore en cours de définition dans le cadre de comités de normalisation du CENELEC. Une fois le mélange détecté, la dilution par ventilation permet d'éviter la présence d'une atmosphère inflammable.

### Dispositifs de prévention de l'incendie et de l'explosion d'atmosphères explosives

Un moyen d'éviter le démarrage de l'incendie ou de l'explosion consiste à abaisser suffisamment la teneur en oxygène de l'atmosphère pour empêcher toute réaction dangereuse. La détermination de la teneur limite en oxygène permettant d'éviter l'explosion est faite expérimentalement, compte tenu du gaz inerte choisi ; il faut ensuite vérifier en continu le maintien de cette teneur limite en oxygène.

### Dispositions permettant d'éviter les sources d'amorçage des explosions

Des étincelles (électriques, électrostatiques, de friction), des rayonnements lumineux, des points chauds, aussi bien que des flammes peuvent être à l'origine du démarrage de l'explosion. De longue date, du matériel électrique de sécurité vis-à-vis de ces atmosphères explosibles a été fabriqué. L'INERIS effectue les certifications de type de ces matériels selon les normes européennes en vigueur. L'adoption de nouvelles directives concernant les machines et les appareils et équipements destinés à travailler en atmosphères explosibles conduira à développer des moyens de vérification de la conformité des appareils aux exigences essentielles de sécurité de la Directive 94/9/CE par exemple. Des méthodes normalisées sont en cours de développement dans le cadre du Comité Technique CEN 305 "Appareils et systèmes pour la prévention des explosions et la protection contre leurs effets".

### Limitation des effets des explosions

La prévention passe aussi par la limitation de l'importance des effets obtenus. Pour les installations pyrotechniques, la séparation des installations les plus dangereuses et le confinement de ces opérations dans des bâtiments résistant à l'explosion ou sur des aires protégées par des merlons sont des techniques utilisées de longue date.

Dans le cas des atmosphères explosibles, les moyens visent surtout à atténuer l'importance des effets de pression. On peut citer la construction résistant aux effets de pression, l'installation sur les appareils d'orifices de décharge de pression (événements), les systèmes extincteurs (passifs ou automatiques) permettant d'arrêter la propagation de la flamme (extincteurs déclenchés, arrêts-barrages, arrête-flammes, vannes d'isolement). L'efficacité de tels moyens a été étudiée avec les utilisateurs et les constructeurs. Il reste encore à l'heure actuelle à normaliser les méthodes ; ce qui est en cours, notamment dans le cadre du CEN CT 305, GT 3.

### Moyens de protection mécanique ou thermique

En ce qui concerne notamment le BLEVE et le "boil over", les moyens passifs de protection (produits d'ignifugation, arrosage, conception mécanique prenant en compte la corrosion) des appareils et structures ont fait l'objet de nombreuses expérimentations.

La protection contre les effets d'un incendie impose le choix de moyens de détection et de leur implantation pour être averti aussi rapidement que possible du démarrage. Les systèmes d'extinction et le choix des matériaux extincteurs sont à faire en fonction du type de feu considéré. Pour sa part, l'INERIS s'est surtout intéressé au moyen de lutte contre les feux couvants de produits solides plus ou moins divisés et à l'examen des règles de stockage : implantation et durée du stockage, masse totale stockée, température de stockage, choix et implantation des détecteurs.

### **Dispositifs de prévention vis-à-vis de la toxicité**

Dans le domaine de la toxicité, il faut définir la conduite à tenir (évacuation ou confinement) en fonction des moyens de détection permettant de faire des mesures locales, de la disponibilité rapide et de la validité de logiciels de calcul de diffusion et d'effet de la toxicité. Le couplage des logiciels de diffusion et d'évaluation de la toxicité aiguë est indispensable. Les modèles existants et leur validation et la considération du coefficient de sécurité par rapport à l'expérimentation sont à analyser en détail et en tenant compte des effets des effluents émis en situation d'urgence sur l'homme.

### **Dispositifs de prévention vis-à-vis de l'écotoxicité**

L'évaluation des risques concernant tel ou tel compartiment de l'environnement permet de mettre en oeuvre des moyens de prévention adaptés ainsi que des moyens d'intervention permettant de minimiser les impacts.

En ce qui concerne l'emploi de substances chimiques ou de formulations, une telle approche sert de base à la mise en place de réglementations interdisant ou limitant l'emploi de certaines substances en fonction des usages auxquels elles sont destinées et fixant des limites selon les milieux récepteurs, notamment en fonction des objectifs de qualité des milieux aquatiques.

En ce qui concerne les risques liés aux accidents ou aux incidents, il est possible de prévoir l'ampleur des impacts qui seront constatés au niveau des écosystèmes, leur persistance et l'importance de la zone touchée (eaux superficielles, nappes phréatiques, totalité du bassin versant, etc.) ; on tiendra compte de l'importance et de la gravité du phénomène de pollution ainsi prévu pour mettre en place les dispositifs de prévention les mieux adaptés : dispositifs d'alarme efficaces, stations d'épuration performantes, bassins de rétention judicieusement dimensionnés.

En cas de pollution, les mesures à prendre (interdictions diverses) et les moyens à mettre en oeuvre pour assurer la réhabilitation des milieux pollués (adjuvants de biodégradation, dispersants, oxygénation des milieux, récupération des polluants, etc.) seront également définis en fonction de la gravité de la pollution, de la nature des milieux contaminés et des usages auxquels ils sont éventuellement destinés (production d'eaux destinées à la consommation, piscicultures, baignades, zones touristiques, zones à forte densité de population, etc.).

### **Dispositifs de confinement**

De façon générale, les dispositifs de confinement par mise en place de murs, de rideaux d'eau, de vapeur ou de laveur permettent de limiter la propagation à trop grande distance de nappes de produits inflammables ou toxiques et d'atténuer les effets possibles d'incendie, d'explosion et de toxicité. L'INERIS participe aux recherches pour évaluer l'efficacité de tels dispositifs (aspects mécanique et chimique) dans le cadre du programme européen MISTRAL II où des essais avec rideau d'eau sont prévus.

### **CONCLUSION**

La démarche d'analyse du risque implique la connaissance du système impliqué, l'identification des phénomènes (incendie, explosion, dissémination pouvant entraîner des effets toxiques ou écotoxiques) liés à la fabrication ou à l'utilisation d'un produit dans ce système. Il est alors possible d'estimer le risque et d'en réduire la probabilité et les effets par l'emploi de mesures de sécurité adaptées.

L'accent a été mis sur l'importance des travaux encore nécessaires, notamment pour développer et normaliser des méthodes de caractérisation de l'incendie, de l'explosion, de la toxicité et de l'écotoxicité. La vérification de l'efficacité des mesures et dispositifs d'atténuation et de prévention des phénomènes qui viennent d'être mentionnés nécessite encore des études de développement et de la normalisation. Enfin, des recherches sont encore nécessaires sur la modélisation des phénomènes d'explosion, d'incendie et de dissémination de polluants aux effets immédiats ou retardés dans le milieu naturel vis-à-vis de l'homme et des écosystèmes.

Compte tenu de l'estimation des risques, les choix sont ensuite à faire par l'exploitant pour satisfaire aux exigences essentielles de sécurité, telles qu'elles sont retenues par les textes réglementaires et précisées dans des textes normatifs.