

que la reconnaissance des droits liés à l'exposition au risque est souvent difficile : rester sur le site pollué de la catastrophe peut parfois constituer la seule façon pour les victimes de faire reconnaître leurs préjudices et d'espérer une réparation en tant qu'ayant droit.

Les compagnies d'assurance vie observent depuis plusieurs années une croissance de leur activité en Inde. Parmi les facteurs expliquant cette croissance, la Swiss Re Economic & Research Consulting identifie la "prise de conscience du risque". La croissance actuelle des primes d'assurance vie en Inde est de 17,5 % contre 2,9 % en moyenne en Europe.

Il est peu probable que la classe moyenne jeune ne continue pas son évolution, en demandant à l'Etat d'assurer la sécurité industrielle.

**Management des risques.** Il est remarquable que les règles soient ici bien suivies : les camions d'ammoniaque sont réglementairement étiquetés, même si ce marquage est fait main. Au-delà du recours à des décisions de justice, la société indienne a su se doter d'un système normatif autour de la gestion du risque industriel (*Indian Standards*). Ces normes sont dédiées à la protection contre l'incendie (IS2189, IS2190, IS3844, IS6382), la santé des travailleurs (IS14489), le risque électrique dans des environnements à risques (IS5572, IS5571, IS2389). Les méthodologies employées sont similaires à celles du monde occidental (identification des scénarii, quantifica-



Marquage "main" d'un camion d'ammoniaque. © Ineris

tion...). Des sociétés commercialisant des études de dangers existent, notamment à Chennai (Madras) et sont parfois l'émanation de holdings financières ou de compagnies d'assurance. Eloigner les populations des usines à risques étant une solution plus qu'improbable, la loi tend à favoriser la création de zones industrielles implantées de manière privilégiées à l'extérieur des centres urbains surpeuplés. Le *factories act* de 1948 a été amendé en 1987 pour prendre trois principaux aspects : l'accident majeur n'est plus considéré comme relevant de l'intérieur de l'entreprise ; un "site appraisal committee" est créé pour conseiller le gouvernement sur les implantations nouvelles ; les entreprises sont supposées établir un "on-site emergency plan and detailed disaster control measures", c'est-à-dire un plan de prévention et une identification des risques. Le recours est majoritairement judiciaire. Il n'y a pas réellement d'autorité de contrôle ou de certification et, si les grandes entreprises ont les ressources, et souvent le

désir pour prendre le risque industriel en compte, ce n'est pas le cas de la multitude d'entrepreneurs de ce pays en plein développement.

**Une société qui se remet en question.** L'Inde est un pays dont la population est jeune et dont les élites comptent parmi les plus brillantes des pays émergents. La diffusion des idées sur la perception du risque y est présente et le perçu de la vie humaine y est plutôt le fruit d'une nécessité de moins en moins absolue que d'une tradition culturelle. Par ailleurs, le système de castes, officiellement aboli par Gandhi, demeure un fait important de structuration sociale, au moins dans la sphère privée. Les plus jeunes, qui ont maintenant aisément accès à la télévision occidentale et à Internet, supportent de moins en moins ces contraintes et adoptent les mêmes exigences que les populations occidentales. Le développement d'une classe moyenne nombreuse, peut-être plus préoccupée de risque et d'environnement que ne le fut celle des années 50 en Europe, rend ce pays, pourtant moins performant économiquement que ne l'est la Chine, potentiellement plus moderne dans ses choix de développement durable.

Luc Brunet  
(CNRI)

**Pour en savoir plus :**

- *Vivre et mourir avec le risque industriel, Bhopal l'infinie catastrophe*, Monde Diplomatique, décembre 2004
- *Communities at risk : Industrial risk in indian law* de Usha Ramanathan, (octobre 2005)

4

## LABORATOIRE

### Risque d'explosions de poussières : le cas des particules d'aluminium partiellement oxydées

Le risque d'explosions de poussières est une des causes principales d'explosions dans l'industrie, qu'elle soit agroalimentaire ou non. La réglementation ATEX (Atmosphère Explosive) vise à définir et limiter les zones de danger dans les secteurs concernés par ce risque. Celui inhérent aux particules d'aluminium partiellement oxydées reste à définir.

L'existence d'explosions accidentelles mettant en jeu des matières pulvérulentes est connue depuis la fin du 18<sup>e</sup> siècle (notamment depuis un accident survenu dans une minoterie en Italie en 1785). Par la suite, il a été démontré que les nombreuses explosions dans les mines de charbon, attribuées jusqu'alors aux mélanges de gaz inflammables et d'air, pouvaient être dues à l'inflammation de suspensions de poussières de charbon dans l'air. Actuellement, le

phénomène "explosion de poussières" est reconnu pour être aussi dangereux que les explosions de gaz.

**Poussières dans l'industrie.** La nature chimique des poussières incriminées est de deux types : organique et minérale. Les premières ont fait l'objet de nombreuses études de par le monde et en France (Ineris, LCD à Poitiers...). Depuis 2004, l'intérêt s'est porté, à Bourges, sur la problématique du risque d'explosions de poussières métalliques représentatives de celles

rencontrées dans l'industrie. Les sites de production et d'utilisation de poudres métalliques ainsi que les ateliers d'usinage à grande vitesse sont ainsi concernés. Les poussières qui en résultent peuvent présenter un risque, face à une ignition de type étincelle électrostatique par exemple. La connaissance des conditions d'amorçage est délicate en raison d'un état d'oxydation préalable qu'il convient de caractériser et de quantifier. Pour cela, le laboratoire Énergétique Explosions et Structures

(LEES) met en œuvre les moyens de caractérisation dont il dispose à Bourges : la thermogravimétrie (ATG Setsys Setaram 1600), la diffraction de rayons X (Philips X'Pert) et la granulométrie *in situ* avec un granulomètre Spraytech. Par ailleurs, de nombreux autres moyens complémentaires sont utilisés pour la réalisation de ce programme de recherche (cf. tableau ci-contre).

**Les alliages métalliques, objet d'étude.** Suite à une analyse bibliographique, nous avons constaté que les caractérisations des "explosions" de poussières métalliques étaient réalisées sur des poussières de métaux "purs" alors que, dans l'industrie, ces poussières sont issues d'alliages métalliques plus ou moins oxydés. Nous avons élaboré un programme de recherche nous permettant de mesurer les caractéristiques telles que LIE (Limite Inférieure d'Inflammabilité), EMI (Energie Minimum d'Inflammabilité), vitesse de combustion etc., sur des alliages métalliques afin de vérifier et d'estimer la possibilité d'avoir une explosion de poussières ainsi que d'en quantifier les effets. Ce programme a débuté par la mise au point d'un banc d'essais suivi de tests sur l'influence du taux d'oxydation sur l'énergie d'ignition nécessaire à l'amorçage d'une explosion de poussières d'aluminium.

Ces recherches ont pour but de permettre aux industriels d'avoir une base de données fiable et proche de la réalité afin de réaliser leur zonage ATEX ou de définir des mesures de prévention ou de protection. Ce programme a pour maître d'œuvre le Centre National des Risques Industriels (CNRI).

**Résultats.** Selon les échantillons analysés (poudre d'aluminium pur pour l'instant), les quantités d'oxyde, avant amorçage, varient entre epsilon (non détectable), et 2 % en masse. Les poudres étudiées à ce jour proviennent de trois lots baptisés P1, P2 et P3 (cf. tableaux 1 et 2). Les résultats des essais d'ignition, pour les trois lots de poudres

Synthèse des moyens mis en œuvre pour l'étude	
Propriétés recherchées	Moyens mis en œuvre
Granulométrie de la poudre	Granulomètre Malvern Spray Tech, tamisage et microscopie MEB
Morphologie, surface spécifique	Microscope optique et logiciel d'analyse d'image
Richesse lors de la mise à feu	Calcul et granulomètre Malvern Spray Tech
Etat d'oxydation initial des poudres	ATG Setsys Setaram 1600
Etat d'oxydation après mise à feu	Etat d'oxydation et diffractomètre Philips
Mise en suspension et explosion	Tube Hartmann
Contrôle de la durée du dépôt d'énergie et de la puissance instantanée	Alimentation d'arc électrique : puissance de 120 à 480 W, énergie de 120 µJ à 48 J et durée du dépôt entre 1 µs et 100 ms
Vitesse de combustion	Visualisation par caméra rapide et enregistrement de signaux de photo diode
Effets externes	Mesures de pression par capteurs de type Kistler

**Tableau 1 – Caractérisation granulométrique par tamisage des trois lots de poudre d'aluminium.**

Poudre	Origine	Pureté (%)	Répartition granulométrique (en % de masse)				
			< 15 µm	15-25 µm	25-50 µm	50-100 µm	> 100 µm
P1	inconnue	inconnue	9.24	27.5	57.1	3.19	3
P2	Acros Organics	> 99 %	0	24.9	58.9	13.0	3.18
P3	Hermillon	99.869 %	0	10.9	59.3	24.6	5.23

**Tableau 2 – Quantification de la quantité d'oxyde initial préalable sur les trois lots de poudres en fonction de leur tranche granulométrique.**

D (µm)	P1	P2	P3
25 < D < 50	1.38 %	0.355 %	≈ 0 %
D < 50	1.75 %	≈ 0 %	≈ 0 %
Non tamisé	1.19 %	0.5 %	≈ 0 %

sont résumés sur la figure 1. Les différences entre l'échelle des ordonnées de droite par rapport à celle de gauche proviennent de la prise en compte d'un rendement énergétique (pour l'alimentation électrique et la production de l'arc).

Parmi les deux paramètres d'étude présentés ici, la granulométrie, repérée par le diamètre de Sauter D32 est celui qui influe le plus sur la valeur de l'énergie d'amorçage E50 (qui correspond à une probabilité d'ignition de 50 %). On ne peut conclure car les poudres ainsi étudiées étaient relativement peu oxydées. A l'avenir, un procédé d'oxydation permettra de contrôler la quantité d'oxyde dans une plage 1 à 10 % massique. Une telle variation de la quantité d'oxyde doit être suffisante pour mettre en évidence l'influence de ce paramètre et pouvoir ainsi mieux prévoir les conditions d'explosibilité de nuage

de poussières d'aluminium partiellement oxydée.

#### Du laboratoire à l'industrie.

L'extrapolation des résultats issus des essais au laboratoire sera grandement facilitée par l'acquisition d'un granulomètre Malvern de type Spraytech. La gamme de mesure de cet appareil s'étend de 0,5 à 200 µm avec une fréquence d'échantillonnage de 2 kHz. Contrairement aux granulomètres habituels, ce type d'instrument est destiné à la réalisation de mesures en ligne sur site industriel. Il est ainsi utilisé couramment dans des cimenteries pour la réalisation de mesures d'empoussièrement. Dans cette étude, ce granulomètre permettra d'obtenir simultanément la répartition en tailles des particules ainsi que leur concentration. Il est alors possible, par un simple calcul, de contrôler la valeur de la richesse qui est un paramètre clé pour la combustion de poussières en suspension.

**Philippe Gillard, Guillaume Baudry, Stéphane Bernard,**

LEES, Université d'Orléans, ENSI de Bourges

**Patrick Delaine,**

CEDERIT, Giat Industries Bourges, membres du réseau CNRI

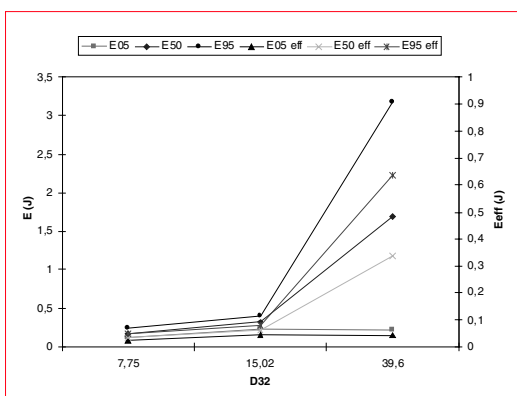


Figure 1 : Mesures d'énergie d'ignition en fonction du diamètre de sauter D32 pour chaque lot de poudre.

**Parus dans l'ouvrage Sécurité et gestion des risques des éditions "Techniques de l'Ingénieur"**

- Risques d'explosion de poussières. Caractérisation, prévention et protection (J.-L. Gustin, Rhodia Rhoditech) - 2004/2005