

## ACCIDENTS TECHNOLOGIQUES

# Capteurs en défaut ou défaut de capteurs ?

DIDIER PITRAT<sup>[1]</sup>

***Omniprésents dans l'industrie, les capteurs sont à l'origine, par leur dysfonctionnement ou leur absence, de certains accidents graves causant des dommages aux personnes, aux installations et à l'environnement.***

Depuis plusieurs décennies, les capteurs sont devenus essentiels pour la conduite des procédés et la sécurité des installations industrielles. Cette large utilisation a été favorisée au fil du temps par des évolutions technologiques (autodiagnostic, bus communicants...), la baisse des coûts de fabrication, mais aussi par les évolutions réglementaires visant une meilleure gestion des risques (directives Seveso, Atex – voir les encadrés –, Machines), ainsi qu'une diminution des rejets dans l'environnement (directive IPPC). Premier maillon essentiel de la chaîne automatisée, constituée également du système de traitement et des actionneurs, les capteurs apportent les informations de base nécessaires au processus décisionnel. Mais ce maillon reste un élément sensible : un examen de la base de données Oreda (voir « Pour en savoir plus » en encadré) montre ainsi que 42 % des défaillances des automates de contrôle à usage pétrolier observées entre 1981 et 2009 impliquent une défaillance de capteur, seules 8 % mettant en cause la fonction traitement de l'automate.

Entre 1992 et 2011, tous secteurs d'activité confondus, 640 accidents impliquant des capteurs sur des installations industrielles fixes en France ont été répertoriés dans la base Aria. Si la majorité de ces accidents sont caractérisés par une défaillance avérée de capteur, il faut souligner que 43 % d'entre eux ont été retenus en raison de l'installation, au titre des mesures correctives, d'un ou de plusieurs capteurs sur les unités accidentées. Par ailleurs, quatre secteurs industriels se distinguent particulièrement : chimie-pharmacie (35 % des accidents de cet échantillon), agroalimentaire (8 %), raffinage (6 %) et métallurgie (5 %). Ces quatre secteurs utilisent ou fabriquent des matières

**mots-clés**

capteur, sécurité

dangereuses dans des installations fonctionnant le plus souvent en continu, fortement automatisées et conduites à distance. Les éléments qui suivent sont extraits d'une synthèse détaillée résultant de l'analyse des 345 accidents français survenus dans ces quatre secteurs. Cette synthèse est librement téléchargeable sur le site Internet Aria (voir « Pour en savoir plus »). Les capteurs de paramètres spatiaux sont souvent concernés dans les accidents du raffinage, alors que les capteurs de paramètres physiques sont particulièrement impliqués dans ceux des trois autres secteurs.

Que ce soit en raison de leur défaillance ou de leur absence, les capteurs de paramètres physiques (pression, température, poids, densité) sont ainsi prédominants dans l'accidentologie des secteurs chimie, agroalimentaire et métallurgie. L'agroalimentaire et la métallurgie se distinguent également par un grand nombre d'accidents aggravés par l'absence de capteurs de phénomènes anormaux : flamme, fumée, gaz, Atex... A contrario, 39 % des accidents dans le secteur du



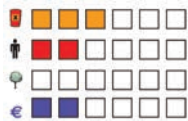
■ Réacteur chimique bardé de capteurs

[1] Chargé de mission au bureau d'Analyse des risques et pollutions industriels (Barpi), ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. Article extrait de la revue *Face au risque*, n° 487, novembre 2012.

## RETOUR D'EXPÉRIENCE

### Quelques accidents illustratifs

#### Fuite toxique non détectée



(voir légende  
en bas de page)

**11 juin 1997.** Dans les combles d'un abattoir, une fuite de 2,2 t d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) a lieu sur une électrovanne du circuit retour d'un surgélateur à steaks hachés. Les employés sont évacués 24 heures, 40 riverains se confinent dans un périmètre de sécurité de 500 m et 20 pompiers dont une CMIC (cellule mobile d'intervention chimique) installent un rideau d'eau. La fuite est stoppée en deux heures en fermant des vannes. Les locaux sont ventilés durant 30 heures. Des odeurs d'ammoniac sont perçues jusqu'à 1 km. Un technicien incommodé est hospitalisé. Les dommages matériels et pertes d'exploitation sont évalués à 4,5 MF, soit 0,69 M€.

L'unité de réfrigération en service depuis un mois utilise 8,5 t d'ammoniac. L'électrovanne fixée par 8 boulons est sans emboîtement et dispose d'un nouveau type de joint plat (abandon des joints amiante) qui s'est rompu sous la pression de l'ammoniac. Des mesures dynamométriques révèlent le serrage moindre de 2 boulons. Des contre-écrous sont préconisés pour bloquer le serrage.

Les experts retiennent une fuite alimentée, vanne amont ouverte manuellement et non totalement refermée avant l'accident, limitant ainsi l'effet de la sécurité positive. Les trappes d'extraction évacuant l'ammoniac à l'extérieur n'ont pas fonctionné à la suite d'un branchement électrique défaillant. L'enquête révèle plusieurs anomalies : alarme sonore générale non asservie aux détecteurs  $\text{NH}_3$ , dont le nombre et les emplacements ne donnent pas un dispositif de détection garantissant la sécurité des personnes.

#### Explosion de four faute d'instrumentation adaptée



**8 juin 2007.** Dans une aciérie électrique, l'opérateur de conduite du four de fusion (70 t) aperçoit des flammes bleues avec la caméra de surveillance, signe de la présence d'eau dans le four. Il ferme le volet de sécurité devant la vitre de séparation entre la cabine de commande et l'enceinte du four et fait évacuer les salariés du secteur.

Une violente explosion a lieu quelques instants plus tard à la suite du contact eau - métal en fusion. Une fuite d'eau avait été constatée dans l'après-midi sur deux flexibles de retour de refroidissement de la voûte du four. L'un avait été changé et, pour pallier la défaillance du second, le circuit de retour de secours avait été mis en service. La vanne d'eau de ce circuit n'ayant pas été ouverte, un dysfonctionnement du système de refroidissement a provoqué le percement d'un tube et l'entrée d'eau dans le four... Les dommages matériels et pertes d'exploitation sont évalués à 2,3 M€.

L'enquête révèle une organisation insuffisante des travaux de maintenance des flexibles d'alimentation en eau de la voûte du four (procédures, gestion des intervenants, surveillance...), une instrumentation ne permettant pas de contrôler l'efficacité du refroidissement de la voûte et l'intégrité du circuit d'eau (aucune mesure de variation de température, de pression), l'absence d'instrumentation du circuit de refroidissement de secours. L'exploitant prévoit l'instrumentation du circuit de secours, la révision de l'organisation de la maintenance, la mise en place d'un détecteur hydrogène et une étude sur l'instrumentation des circuits de refroidissement.

#### Redémarrage sans capteur de pression



**13 août 2009.** De l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) est émis par un événement de l'atelier de liquéfaction de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) d'une usine chimique... 24 personnes sont incommodées, dont 4 hospitalisées par précaution. Le  $\text{CO}_2$  est liquéfié à l'aide d'un circuit de réfrigération mettant en œuvre 5 t d'ammoniac. L'atelier étant à l'arrêt, un transmetteur de pression avait été démonté la veille pour maintenance sur le circuit de compression haute pression de l'ammoniac. Ce transmetteur a une double fonction : il permet de régler la pression du circuit de réfrigération à une valeur consigne de 13 bar et assure la sécurité de l'installation avec une valeur de déclenchement fixée à 14 bar. L'atelier redémarre le matin suivant alors que le transmetteur est toujours en révision. Sans régulation ni sécurité, le système a divergé, et le circuit  $\text{NH}_3$  est monté en température et pression. Via la soupape du circuit, 200 kg d'ammoniac ont été rejetés par un événement à 17 m de hauteur.

#### Détecteur en défaut



**21 juillet 2003.** Dans le cadre d'une opération de maintenance dans une raffinerie, un test est réalisé sur une vanne permettant en cas de fortes pluies d'orage de contourner le traitement des eaux industrielles pour un rejet direct dans le milieu ; souhaitant vérifier son étanchéité, les opérateurs mettent en charge la canalisation en la remplissant d'eau polluée par un hydrocarbure (HC) de type gazole. Le détecteur d'hydrocarbure situé en aval ne signale pas le passage du fluide et une pollution de l'étier est découverte trois jours plus tard. La vanne était en position ouverte et 350 m<sup>3</sup> d'eau se sont déversés dans le milieu naturel sans que le détecteur ne le signale. Compte tenu de l'influence de la marée, montante au moment des faits, seule une faible fraction d'hydrocarbure a remonté la Loire sur une distance réduite, de 150 à 200 m<sup>3</sup> du produit restant dans l'étier.

#### Indices accidents :



Matières dangereuses relâchées



Conséquences environnementales



Conséquences humaines et sociales



Conséquences économiques

raffinage impliquent des défaillances de capteurs de paramètres spatiaux (de niveau, principalement), et 8 % leur absence. Cette faible proportion d'accidents liés à l'absence de capteur illustre le bon niveau d'équipement en capteurs de ce secteur industriel.

La répartition des accidents par secteur selon le type d'accidents et l'usage du capteur défaillant ou absent (contrôle de procédé ou fonction de sécurité) montre, d'une part, que le type d'accidents de capteurs le plus fréquemment rencontré est le rejet de matières dangereuses (par opposition aux incendies et explosions) et, d'autre part, que les capteurs concernés (c'est-à-dire défaillants ou absents) sont majoritairement des capteurs de procédé. Le secteur de l'agroalimentaire constitue toutefois une exception, avec une prédominance des incendies (51 % des accidents de capteurs de ce secteur) impliquant majoritairement des capteurs de sécurité. Enfin, la faible implication des capteurs de sécurité dans les accidents de raffineries françaises confirme le bon niveau d'équipement de ce secteur.

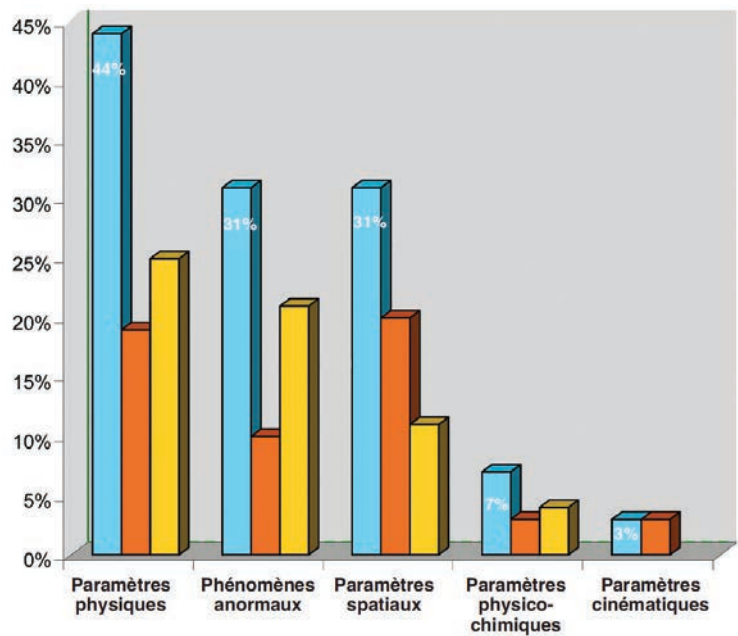
### Des conséquences avant tout environnementales

Les accidents impliquant des capteurs, aux premiers rangs desquels figurent, on l'a vu, les rejets de matières dangereuses, entraînent le plus souvent des pollutions environnementales. De telles pollutions sont ainsi constatées dans plus de 45 % des accidents impliquant la chimie-pharmacie et le raffinage. Toutefois, l'analyse révèle une influence défavorable des défaillances et absences de capteurs sur les conséquences humaines des accidents mettant en cause l'agroalimentaire et la métallurgie ; un effort d'équipement en capteurs pourrait être une piste à étudier pour réduire la gravité humaine des accidents dans ces secteurs.

### Des phases de mise en arrêt et de démarrage particulièrement sensibles

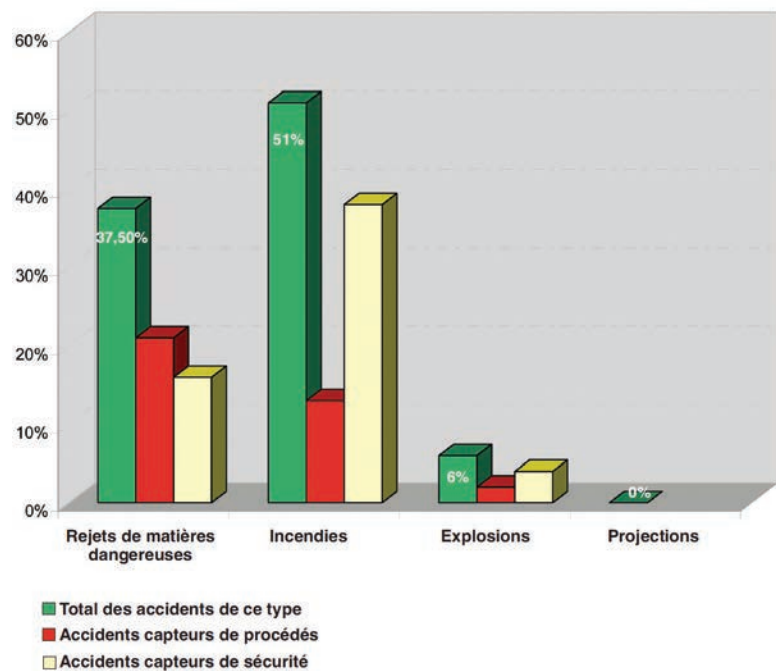
Les phases de mise en arrêt et de démarrage posent des difficultés pour les capteurs qui se trouvent en limite ou en dehors de leurs plages normales de fonctionnement. En dehors de ces plages, les réactions des capteurs sont en effet moins bien connues et susceptibles de provoquer ou d'aggraver une situation accidentelle, surtout quand le système de conduite des installations est fortement automatisé. Le secteur du raffinage s'illustre ainsi par l'importance des accidents lors des phases d'arrêt prolongé propices aux oublis de branchement, shunts et endommagements de capteurs (voir « Quelques accidents illustratifs » en encadré).

Cet article montre que les capteurs permettent d'améliorer le niveau de sécurité des installations et des procédés industriels, même si des différences notables peuvent apparaître entre les différents secteurs étudiés : taux d'équipement, typologie et gravité des accidents...



■ Total par famille de capteur  
■ Accidents "avec capteurs"  
■ Accidents "capteurs manquants"

1 Répartition des accidents dans la métallurgie impliquant des capteurs, selon leur famille



2 Répartition des types d'accidents dans l'agroalimentaire selon l'usage des capteurs

#### Pour en savoir plus

OREDA, *Offshore Reliability Data Handbook*, 5<sup>e</sup> édition, DNV, 2009

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, du Développement durable et de l'Énergie, *Accidentologie des automatismes industriels, partie 1/3 : Le capteur, un allié de la sécurité ?*, 2012. En ligne :

[www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files\\_mf/1373980512SY\\_capteur\\_2012\\_Fr.pdf](http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files_mf/1373980512SY_capteur_2012_Fr.pdf)

## Les sites Seveso

Depuis l'accident de l'usine AZF en septembre 2001, notre perception du risque majeur industriel a été exacerbée, notamment sous l'action des médias. Des termes nouveaux nous semblent aujourd'hui familiers, sans pour autant nous être parfaitement connus, à commencer par le mot « Seveso ». Retour sur la notion centrale, qui forme un cadre législatif européen dans la recherche publique de la sécurité des citoyens. Seveso, à l'origine, c'est une petite ville d'Italie, victime d'un accident industriel en 1976. Une émission accidentelle de dioxine par une usine du groupe Hoffmann - La Roche y a entraîné l'évacuation de 700 personnes et a provoqué des dommages sur l'environnement évalués à 72 millions d'euros, sans toutefois faire de victimes sur le coup.

C'est à cette époque que la France a modifié sa législation sur les installations nuisibles et insalubres afin de créer une loi réglementant l'exploitation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Cette loi, toujours en vigueur aujourd'hui, a pour objectif de protéger l'environnement des nuisances (bruit, odeur...), des pollutions et des risques pouvant être engendrés par les industries. En fonction de son activité et/ou des quantités de produits stockés ou fabriqués, l'entreprise est classée dans l'une des catégories suivantes :

- **Non classée** : si les nuisances engendrées sont négligeables
- **Déclaration** : si les nuisances ou les risques de pollution sont faibles
- **Autorisation** : si les nuisances ou les risques sont relativement importants
- **Autorisation avec servitude d'utilité publique** : si la potentialité à générer un risque ou des nuisances pour l'environnement est très élevée

En fonction de leur classement, les entreprises sont soumises à des contraintes de sécurité de plus en plus rigoureuses, et à des contrôles périodiques par la Drire (direction régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement), dont la fréquence varie en fonction du classement ICPE.

C'est également à cette époque que la Communauté européenne a souhaité harmoniser la politique communautaire en matière de risques industriels, et a donné naissance en 1982 à la directive Seveso, modifiée et abrogée en 1996 par la directive dite Seveso 2. [...]

Contrairement à la loi sur les ICPE, l'objectif de cette nouvelle réglementation est de prévenir l'apparition d'accidents industriels majeurs. Cette fois-ci, c'est uniquement la potentialité à générer un risque important pour l'environnement qui est visée par le législateur. Or, les directives européennes s'appliquent aux États et non aux citoyens. Cette directive a donc été transcrite en droit français à travers plusieurs textes de loi, qui ont permis, entre autres, de refondre la législation ICPE. Le principal texte du nouveau dispositif législatif, défini par application de la directive Seveso 2, est l'arrêté ministériel du 10 mai 2000, qui a introduit les seuils de classement suivants :

- **Seveso seuil bas**
- **Seveso seuil haut** : Les sites classés dans cette catégorie sont les sites industriels présentant les risques les plus élevés. Ils subissent des contraintes de sécurité plus importantes que les autres sites, notamment les mesures décrites ci-après. Ces sites Seveso seuil haut sont également appelés sites Seveso ou sites Seveso 2. [...]

La directive Seveso 2, plus contraignante que la première, introduit les notions suivantes :

- **Prise en compte de l'effet domino** dans les études de danger, c'est-à-dire que lorsque l'industriel étudie les risques d'accidents pouvant être générés par son activité, il doit étudier les conséquences d'un accident dans un atelier donné sur les autres installations du site et sur les installations des entreprises voisines.
- **Réduction du risque à la source** : cela signifie que l'industriel doit étudier et mettre en œuvre les améliorations techniques découlant des études de danger et permettant d'éviter la survenue d'un accident.
- **Mise en place d'un système de gestion de la sécurité** et/ou d'une politique de prévention des accidents majeurs : c'est un système d'organisation ou une politique interne à l'établissement qui permet de gérer la sécurité du site quotidiennement.
- **Maîtrise de l'urbanisation** : l'urbanisation autour des sites industriels doit prendre en compte les risques potentiels générés par ceux-ci. Les PLU (plan locaux d'urbanisme) doivent intégrer les zones à risques mises en avant par les études de danger.
- **Organisation préalable des secours** : les industriels doivent structurer les moyens qu'ils devraient mettre en œuvre si un accident survenait. Le plan de secours créé par l'industriel est complété par un plan mis en œuvre par le préfet, qui permet d'organiser les moyens de secours départementaux qui viendraient renforcer le dispositif si le sinistre dépassait les limites du site. Ce plan est appelé PPI (plan particulier d'intervention). De plus, ces plans doivent être testés très régulièrement afin d'entraîner les équipes d'intervention et de s'assurer que les mesures prescrites sont bien en adéquation avec la réalité d'une crise.
- **Information préventive des populations** : la population riveraine doit être informée par l'exploitant des risques générés par son activité et des consignes de sécurité à suivre si un accident ou un incident survenait sur le site. Cette information doit être renouvelée au minimum tous les 5 ans.
- **Renforcement du système des inspections** : la Drire doit inspecter au minimum une fois par an les sites Seveso seuil haut et mettre au point un planning de suivi des autres sites sur trois ans.

Il apparaît donc que les sites Seveso sont des sites industriels présentant des risques élevés du fait de la nature et des quantités de produits stockés.

Extrait d'Adeline NIGOUL et Éric PHILIP,  
« Mise au point sur la notion de site Seveso »,  
in *Risques infos*, n° 14, « Le risque industriel en Rhône-Alpes », juin 2003  
[www.irma-grenoble.com/PDF/risques\\_infos/N14/risques-infos.pdf](http://www.irma-grenoble.com/PDF/risques_infos/N14/risques-infos.pdf)

*Remarque* : À compter du 1<sup>er</sup> juin 2015, de nouvelles exigences seront applicables aux établissements afin de prévenir et de mieux gérer les accidents majeurs impliquant des produits chimiques dangereux.

Le Conseil et le Parlement européens sont parvenus, le 27 mars 2012, à un accord sur le projet de directive Seveso 3. Les négociations entre les institutions européennes ont été menées sur la base d'un projet de directive présenté par la Commission le 21 décembre 2010. La directive 2012/18/UE du 4 juillet 2012, dite directive Seveso 3, relative aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses, a été adoptée et publiée le 24 juillet 2012 au *Journal officiel de l'Union européenne*. Elle est appelée à remplacer, d'ici le 1<sup>er</sup> juin 2015, la directive Seveso 2.

[www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/di2012\\_18.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/di2012_18.pdf)

## La norme Atex

L'Union européenne a adopté deux directives relatives aux atmosphères explosives **a** (dites directives Atex), entrées en vigueur le 1<sup>er</sup> juillet 2003. Ces deux textes renforcent la protection contre les explosions en rendant obligatoires différentes mesures techniques et organisationnelles. Rappelons qu'au sens de ces directives les explosions accidentelles peuvent avoir pour origine des substances combustibles sous forme de gaz, vapeurs, brouillards ou poussières. La directive 1999/92/CE concerne les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés aux risques associés aux atmosphères explosives. Cette directive a été transposée en droit français par les articles R. 4216-31 et de R. 4227-42 à R. 4227-54 du code du travail.

Deux arrêtés du 8 juillet 2003 complètent ces articles en transposant les annexes de la directive.

Ces arrêtés concernent en particulier :

- la définition des emplacements où des atmosphères explosives peuvent se former,
- les prescriptions visant à améliorer la santé et la sécurité des travailleurs exposés aux risques d'explosion,
- les critères de sélection des appareils et des systèmes de protection utilisés dans les emplacements où des atmosphères explosives peuvent se présenter,
- le panneau de signalisation des emplacements dangereux.

Un troisième arrêté, daté du 28 juillet 2003, fixe les conditions d'installation des matériels électriques dans les emplacements où des atmosphères explosives peuvent se présenter.

La directive 1999/92/CE est le complément social de la directive 94/9/CE concernant le rapprochement des législations des États membres pour les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosive.

Cette directive « nouvelle approche » qui s'adresse aux fabricants donne les exigences essentielles auxquelles doivent satisfaire les appareils et les systèmes de protection ainsi que les procédures d'évaluation de conformité. Elle a été transposée en droit français par les décrets n° 96-1010 du 19 novembre 1996 et n° 2002-695 du 30 avril 2002, complétés par les arrêtés du 3 mars 1997 et du 21 août 2000.

Rappelons, enfin, que la circulaire du 9 mai 1985, relative au commentaire technique des décrets n° 84-1093 et 84-1094 du 7 décembre 1984 concernant l'aération et l'assainissement des lieux de travail, précise que :

- lorsque des substances susceptibles de former un mélange explosif sont des gaz ou des vapeurs inflammables, leur concentration doit être maintenue à la plus faible valeur possible et rester inférieure à 25 % de la limite inférieure d'explosivité (LIE) dans l'ensemble de l'installation [...] et à 10 % de cette limite si des personnes travaillent dans cette atmosphère **b**,
- lorsque ces substances sont des poussières inflammables, il faut éviter la formation de nuages de poussières et, notamment, supprimer par des nettoyages fréquents tout dépôt de poussières susceptibles de se soulever et utiliser des conduits d'extraction aussi courts que possible.

### Définition des zones Atex

Atmosphère explosive	Zone gaz/vapeur	Zone poussière
Permanente, en fonctionnement normal	0	20
Occasionnelle, en fonctionnement normal	1	21
Accidentelle, en cas de dysfonctionnement	2	22

**Zone 0** : emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard est présente en permanence, pendant de longues périodes ou fréquemment.

**Zone 1** : emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal.

**Zone 2** : emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou n'est que de courte durée, s'il advient qu'elle se présente néanmoins.

**Zone 20** : emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles est présente dans l'air en permanence, pendant de longues périodes ou fréquemment.

**Zone 21** : emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal.

**Zone 22** : emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou n'est que de courte durée, s'il advient qu'elle se présente néanmoins.

NB : Les couches, dépôts et tas de poussières combustibles doivent être traités comme toute autre source susceptible de former une atmosphère explosive.

JANES (A.), CHAINEAUX (J.), LESNÉ (P) *et al.*, *Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives (Atex)*, INRS, 2011, p.4-5. En ligne : [www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-945/ed945.pdf](http://www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-945/ed945.pdf)

