

Foudre et atmosphères explosives

Stanislas Halama

▶ **To cite this version:**

Stanislas Halama. Foudre et atmosphères explosives. 2. Symposium International "Foudre et Montagne", Jun 1997, Chamonix, France. pp.169-177. ineris-00972094

HAL Id: ineris-00972094
https://ineris.hal.science/ineris-00972094

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.

FOUDRE ET ATMOSPHERES EXPLOSIVES

LIGHTNING AND EXPLOSIVES ATMOSPHERES

HALAMA S., INERIS - Verneuil-en-Halatte - FRANCE

RESUME

De nombreuses installations industrielles à risques le sont du fait de l'utilisation de produits sensibles pouvant provoquer facilement des incendies et des explosions. C'est le cas des industries et entrepôts qui transforment, fabriquent, manipulent et stockent des produits inflammables.

Les atmosphères explosives gazeuses et poussiéreuses ainsi que les conditions favorisant leur inflammation sont présentées.

Comme le matériel électrique peut être une source d'inflammation permanente, les prescriptions normatives concernant les matériels électriques utilisables en atmosphères explosives sont décrites ainsi que la réglementation.

Une installation industrielle ne présente pas constamment des emplacements à risques d'explosion. Les différents types de zones explosives et les endroits où elles peuvent se former dans l'installation industrielle sont précisées.

Une méthode permettant la classification des emplacements dangereux dans une installation industrielle est décrite et quelques emplacements à risque d'explosion sont montrés tels que réservoirs de stockage de liquides inflammables, installations de remplissage de camions citernes et autres installations. Les possibilités et les conséquences de l'impact de la foudre à la périphérie et à l'intérieur des zones à risque d'explosion sont analysées et des propositions sont émises.

ABSTRACT

Many industrial activities are hazardous because of using sensistive products able to initiate easily fires and explosions. That is the case of activities which convert, produce, handle and store flammable products.

Gaz and dust explosive atmospheres and conditions for ignition are developped.

As electrical apparatus can be a permanent ignition source, the standard requirements concerning the use of electrical apparatus in potentially explosive atmosphere and the legislation are described.

An industrial activity does not have constantly explosive risk areas. Different types of explosive risk areas and the locations where they can exist inside the industrial activity are specified.

A method allowing the classification of hazardous areas in an industial activity is described and some explosive areas are shown such as flammable liquid storage tanks, installations of filling petrol lorries and others activities.

Possibilities and consequences of lightning connexion around the boundary and inside explosive risk areas are analysed and some recommendations are issued.

1 - LES INDUSTRIES A RISQUES

De nombreuses installations classées le sont du fait de l'utilisation de produits sensibles pouvant provoquer facilement des incendies et des explosions. Un site industriel peut comporter plusieurs parties ou zones dans lesquelles s'appliquent déjà une réglementation concernant l'utilisation de matériels électriques. C'est le cas des industries et entrepôts qui transforment, fabriquent, manipulent et stockent des produits tels que les hydrocarbures, les gaz, les peintures, les vernis, les colles, les résines, les parfums, les produits d'entretien, les caoutchoucs, les textiles, les matières plastiques, les poudres et les produits agro-alimentaires.

L'impact de foudre sur la structure de l'installation industrielle et tout effet d'étincelage produit par un impact proche du site doivent être exclus.

1.1 - Les industries à risques d'explosions gazeuses

Les documents CEI 79-10 "Classement des régions dangereuses" [1] et le guide d'études, de réalisation et de maintenance [2] de l'UIC fournissent des éléments pour aider le chef d'établissement à classer l'installation industrielle en zones explosibles de type 0, 1 et 2.

La zone 0 est la région dans laquelle une atmosphère explosive gazeuse est présente en permanence, ou pendant de longues périodes (durée cumulée supérieure à 100 h/an*) [1].

La zone 1 est la région dans laquelle il est probable qu'une atmosphère explosive gazeuse apparaisse en fonctionnement normal (durée cumulée supérieure à 10 heures/an*) [1].

La zone 2 est la région dans laquelle il n'est pas probable qu'une atmosphère explosive gazeuse apparaisse en fonctionnement normal et où, si elle apparaît, il est probable que ce soit seulement de façon peu fréquente et qu'elle n'existera que pour une courte période (durée cumulée supérieure à 0,1 heure/an*).

La classification des zones est basée sur la détermination des sources de dégagement, de leur fréquence, de leur durée, de leur débit, de leur concentration ainsi que sur d'autres facteurs tels que la ventilation.

La conception, l'implantation et le mode d'exploitation du matériel de fabrication doivent permettre de réduire au minimum tout dégagement, même épisodique, afin de diminuer l'étendue de l'emplacement dangereux.

*Les durées cumulées de présence d'atmosphères explosives dans une installation industrielle sont données à titre indicatif et elles ne sont pas issues d'une réglementation. Le classement des emplacements à risque d'explosion est sous la responsabilité du chef d'établissement.

Le guide de l'UIC [2] fournit quelques exemples de sources engendrant une zone 0, une zone 1 et une zone 2 :

Exemples de sources engendrant une zone 0 : ciel gazeux d'un réservoir, non inerté, à couvercle fixe, contenant un liquide inflammable.

Exemples de sources susceptibles d'engendrer une zone 1:

- —Orifices de respiration d'un réservoir définissant une zone 0.
- —Orifices de mise à l'air libre pendant les opérations de chargement.
- —Events et autres ouvertures dégageant à l'atmosphère.
- —Orifices de mise à l'air libre de gardes hydrauliques et de dispositifs de décharge.
- —Orifices de mise à l'air libre de soupapes de sûreté et de disques de rupture.

2ème Symposium International « Foudre et Montagne », Chamonix, 1-5 juin 1997, p. 169-177

—Extrémités de bras articulés et de flexibles de chargement.

—Dispositifs d'ouverture en marche d'appareils pendant leur temps d'ouverture à l'air libre.

—Orifices de prise d'échantillon utilisés couramment en service normal.

—Fosses et caniveaux non étanches.

—Garnitures d'étanchéité dynamique fonctionnellement non étanches (sorties de ligne d'arbre sur certaines machines telles que pompes, compresseurs...)

—Réservoir contenant un liquide inflammable, ouvert à l'atmosphère (peut s'appliquer aux séparateurs huile-eau).

Exemples de source susceptibles d'engendrer une zone 2 :

—Orifices de mise à l'air libre pendant les opérations de déchargement.

—Garnitures d'étanchéité dynamique, étanches en service normal.

—Cuvettes de rétention.

—Appareillages en matériaux fragiles tels que verre, céramique, graphite.

—Raccords facilement démontables sur certaines canalisations à l'intérieur de locaux fermés.

—Joints, raccords et brides de tuyauteries,

et certains exemples déjà cités comme engendrant une zone 1 mais se produisant avec une faible fréquence et une courte durée tels que :

—Garnitures d'étanchéité dynamique fonctionnellement non étanches (sorties de ligne d'arbre sur certaines machines telles que pompes, compresseurs, etc...), si aucun dégagement n'est prévu pendant le fonctionnement normal de l'équipement.

—Events, soupapes de sûreté et autres ouvertures pour lesquelles n'est prévu aucun dégagement de gaz ou vapeurs inflammables à l'atmosphère pendant le fonctionnement normal.

—Orifices de prise d'échantillon par lesquels n'est prévu aucun dégagement de matière inflammable à l'atmosphère pendant le fonctionnement normal.

—Dispositifs d'ouverture en marche d'appareils pendant leur temps d'ouverture à l'air libre.

Enfin, une zone 2 peut être engendrée par une Zone 1 qui n'est pas entièrement délimitée matériellement (existence de porte, sas et autre ouverture).

Nota : une zone 1 non matérialisée concrètement par obstacles est entourée d'une zone 2.

1.2 - Les industries à risque d'explosion de poussières

Une atmosphère explosive poussiéreuse se présente et réagit généralement d'une manière très différente d'une atmosphère explosive gazeuse. La ventilation par exemple n'a pas le même effet : alors qu'elle dilue les gaz, elle peut dans certains cas créer des nuages de poussières et induire une certaine concentration qui est inflammable par étincelle électrique. En outre un impact de foudre sur une couche de poussière va la disperser localement et former aussi un nuage de poussière avec une concentration qui peut être adéquate pour l'inflammation par étincelle, de plus l'échauffement de la couche de poussière au point d'impact peut également l'enflammer [3].

Par ailleurs l'accroissement du champ électrique aux environs de 15 kV avant l'impact et d'une centaine de kV à l'approche du traceur descendant peut mettre en suspension la poussière et former ainsi un nuage explosif. Comme pour les gaz, une classification en 3 zones a été établie [2] et [4] :

Zone 20

Emplacement dans lequel la poussière inflammable, sous forme de nuage, est présente en permanence ou fréquemment pendant le service normal, en quantité suffisante pour produire une concentration de poussière explosive en mélange avec l'air (et/ou dans lequel des couches de poussières d'épaisseur excessive et incontrôlée peuvent se former...).

Zone 21

Emplacement dans lequel la poussière inflammable, sous forme de nuage, est susceptible de se former pendant le service normal, en quantité suffisante pour produire une concentration de poussière explosive en mélange avec l'air.

Zone 22

Emplacement dans lequel la poussière inflammable, sous forme de nuage, peut rarement se produire et subsiste seulement un court instant pour atteindre une concentration de poussière explosive en mélange avec l'air (ou dans lequel des accumulations de couches de poussières combustibles peuvent se former.).

Les exemples ci-après illustrent ces trois définitions :

Zone 20 : Intérieur des silos, des trémies, des mélangeurs, des sécheurs, des cyclones et filtres, etc...

Intérieur des systèmes de transport de produits pulvérulents.

Zone 21 : Environnement immédiat des appareils ci-dessus lors des opérations de chargement et/ou déchargement, d'échantillonnage. Confinement de poussières ou accumulation dus aux opérations normales de fabrication.

Zone 22 : Environnement occasionné par la rupture de flexible, de manchette etc...sur les circuits de transport pneumatique ou mécanique.

Fuites occasionnelles dues aux évents de sécurité ou disques de rupture ou lors de manutention non contrôlée, rupture de sacs par exemple.

Note: D'autres définitions de zones sont en cours d'élaboration au niveau du CEN (Comité Européen de Normalisation) et seront reprises dans le code du travail [5].

1.3 - Les industries manipulant des produits toxiques

L'agression de la foudre dans les industries chimiques produisant, conditionnant et stockant par exemple des produits phytosanitaires peut conduire à des incendies. En effet, certains produits comme les fumigènes peuvent être mis en réaction par une étincelle d'énergie suffisante, quelques dizaines de mJ. Le dégagement de chaleur qui en résulte surtout lorsque de tels produits sont conditionnés et stockés en grande quantité peut provoquer un incendie. L'extinction d'un tel incendie par l'eau peut disperser ces produits, et d'autres produits présents dans le local de stockage, dans l'environnement de l'installation industrielle.

Un bâtiment de stockage, même protégé par un système externe de protection foudre, peut en cas d'impact induire une étincelle à l'intérieur du bâtiment lorsque certaines conditions sont réunies comme la présence de boîtiers métalliques d'emballage des produits chimiques. Ces boîtiers peuvent se comporter en potentiel flottant pendant la décharge de la foudre et favoriser des étincelages.

2 - LES ATMOSPHERES EXPLOSIVES GAZEUSES

Une atmosphère explosible est une atmosphère qui est susceptible de devenir explosive (le danger existe à l'état potentiel) [6].

Une atmosphère explosive gazeuse est un mélange avec l'air, dans les conditions atmosphériques, de substances inflammables sous la forme de gaz, vapeur ou brouillards, dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange non brûlé [6].

Ce mélange gazeux explosif se crée en général dans les conditions atmosphériques normales de température (- 20 °C à 40 °C) de pression (autour de 1 013 mbar) et de composition de l'air (21 % d'oxygène). La concentration en carburant est variable mais elle doit se trouver entre des limites inférieures et supérieures d'explosibilité (LIE et LSE).

Le tableau I indique les limites d'explosibilité de quelques gaz explosifs les plus courants. En dehors de ces limites, il n'y a pas inflammation de l'atmosphère explosive. La teneur stoechiométrique pour laquelle la combustion est complète se situe entre les deux limites d'explosibilité.

La limite inférieure d'explosibilité d'un gaz correspond à la concentration minimale en volume dans le mélange au-dessous de laquelle le mélange est trop pauvre en combustible pour s'enflammer. La limite supérieure d'explosivité est la concentration maximale en volume au-dessus de laquelle le mélange est trop riche en combustible pour s'enflammer.

Gaz explosif	LIE %	LSE %
Acétone	2,6	12,8
Méthane	5	15
Propane	2	9,5
Hexane	1,2	7,4
Méthanol	6,7	36
Essence (io 100)	1,4	7,4
Ethylène	2,7	36
Ether éthylique	1,9	36
Hydrogène	4	75
Acétylène	2,5	85
Sulfure de carbone	1,3	50

Tableau I :
Limites d'explosibilité de quelques gaz explosifs

Les substances inflammables sont classées entre autres en fonction de leurs énergies minimales d'inflammation (EMI), de leurs températures minimales d'inflammation (TMI), de l'interstice expérimental maximal de sécurité (IEMS exprimé en mm), et le groupement du matériel électrique pour atmosphères explosives : tableau II.

L'énergie minimale d'inflammation EMI est la plus petite énergie qui doit être fournie au mélange le plus facilement inflammable pour provoquer son inflammation. En général, un tel mélange est voisin du mélange stoechiométrique.

Gaz explosif	EMI mJ	TMI °C	IEMS mm	Goupe
Acétone	1,15	535	1,01	II A
Méthane	0,3	595	1,14	I/II A
Propane	0,25	470	0,92	II A
Hexane	0,23	225	0,93	II A
Méthanol	0,14	385	0,92	II A
Essence (io 100)		460		II A
Ethylène	0,070	425	0,65	II B
Ether éthylique	0,190	160	0,87	II B
Hydrogène	0,020	560	0,28	II C
Acétylène	0,017	305	0,37	II C
Sulfure de carbone	0,015	102	0,20	II C

Tableau II :
Classement des gaz selon EMI, TMI, IEMS et le groupe du matériel électrique

En l'absence de phénomène de catalyse, la température minimale d'inflammation ou température d'auto-inflammation d'un gaz ou d'une vapeur est la température minimale à laquelle la substance, mélangée avec de l'air en proportion stoechiométrique, s'enflamme spontanément [7].

L'interstice expérimental maximal de sécurité (IEMS) est le jeu maximal entre les deux parties de la chambre interne d'un appareil d'essai qui empêche, lorsque le mélange gazeux dans la chambre interne est enflammé, l'inflammation du mélange gazeux externe par propagation de la flamme à travers un joint de 25 mm de longueur, quelle que soit la concentration dans l'air du gaz ou de la vapeur essayée [8].

Le groupe d'un matériel électrique pour atmosphères explosibles est une classification d'un matériel électrique en fonction de l'atmosphère explosive pour laquelle son utilisation est prévue, voir paragraphe 4.

Les atmosphères explosives sont classées également en fonction du courant minimal d'inflammation (CMI) parcourant un circuit électrique soumis à des ruptures et à des contacts intermittents. Les valeurs du CMI sont fonction du type de circuit électrique (résistif et/ou inductif) et de la tension présente dans le circuit et elles couvrent une échelle de quelques mA à plusieurs ampères pour les sources basse tension (< 10 volts) et les circuits à faible inductance (< 20 µH).

La température minimale d'inflammation (TMI) est supérieure au "point éclair" qui est la température minimale à laquelle, un liquide génère suffisamment de gaz ou de vapeur combustible capable de s'enflammer en présence d'une source d'inflammation efficace (flamme ou étincelle d'énergie suffisante), tableau III.

Combustible	Points éclair	TMI °C
Ether éthylique	- 45 °C	160
Essence (io 100)	- 37 °C	460
Sulfure de carbone	- 30 °C	102
Acétone	- 17 °C	535
Méthanol	11 °C	385
Kérosène	37 °C	225
Gasoil	55 °C	330

Tableau III :
Point éclair de combustibles

Lorsque l'atmosphère explosive présente dans une installation industrielle est soumise à une source d'inflammation d'énergie et de température suffisantes, tableau II, et que l'inflammation ainsi produite peut se propager dans tout l'emplacement à risque d'explosion, cette combustion rapide va provoquer une explosion sous forme de déflagration et/ou de détonation, figure 1.

L'explosion résulte de l'occurence simultanée de trois facteurs : présence d'une atmosphère explosive, action d'une source d'inflammation et possibilité de propagation de l'inflammation à toute l'atmosphère explosive.

La propagation de l'inflammation s'effectue en général par conductibilité thermique à des vitesses de propagation de l'ordre de 0,5 à 10 m/s : domaine de la déflagration, mais elle peut s'accélérer et se propager par onde de choc à des vitesses supérieures à 1 000 m/s : domaine de la détonation.

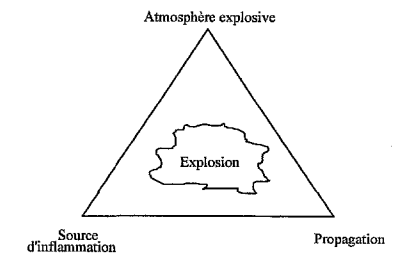


Figure 1 :
l'explosion résulte de la simultanéité de trois facteurs

Les infrastructures de l'installation industrielle soumises aux effets de l'explosion (pressions et températures élevées à évolution très rapide) vont se modifier et souvent se transformer en projectile.

3 - LES ATMOSPHERES EXPLOSIVES POUSSIEREUSES

Une atmosphère explosive poussiéreuse est un mélange avec l'air dans les conditions atmosphériques, de substances inflammables sous forme de poussières ou fibres dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange [4].

Pour que des poussières puissent exploser, il faut qu'elles soient combustibles, qu'elles forment avec l'air un "nuage", mélange relativement homogène, de concentration convenable, que la taille des poussières soit suffisamment fine et qu'il existe une source d'inflammation.

Une source d'inflammation (étincelle ou arc) ou une élévation de température suffisante induisent par oxydation de surface ou pyrolyse sur les particules du nuage des réactions dont le bilan est exothermique.

La flamme se propage dans le nuage. Elle est précédée d'une onde de pression qui est provoquée par l'expansion des gaz chauds formés par la combustion et qui entraine les poussières du nuage.

D'autres poussières, déposées sur les parois de l'installation, notamment en canalisation où se déroule l'explosion, peuvent être soulevées et donnent lieu à des explosions successives [3].

L'inflammation d'une couche de poussière peut, par les remoux gazeux provoqués, mettre en suspension un nuage et être suivie d'une explosion.

L'expérience industrielle montre qu'une large gamme de produits en poudres fines ou en poussières combustibles peut engendrer un risque d'explosion (exemple : poudres d'aluminium, poussières de bois). Les conditions d'explosivité d'une poussière sont fonction d'un grand nombre de paramètres (LIE, LSE, température d'auto-inflammation, énergie minimale d'inflammation...) qui sont déterminés par des tests réalisés en laboratoire.

Lorsque la granulométrie des poussières dépasse 200 à 300 microns, celles-ci ne sont généralement pas explosives. En dessous de 200 microns, l'explosion est d'autant plus facile que la granulométrie est plus fine, car le nuage de poussières est alors plus stable et la surface spécifique de la matière plus grande.

Comme pour les mélanges gazeux, il n'y a risque d'explosion que si la concentration en poussières est comprise entre deux valeurs limites (LIE, LSE). Dans la pratique, seule la LIE a de l'importance, car les nuages de poussières à forte concentration ne sont pas stables et la limite supérieure d'explosivité (LSE) peut difficilement être dépassée. Les poussières les plus dangereuses sont explosives à partir de concentrations de l'ordre de 20 à 70g/m^3, tableau IV [3].

Si la poussière est déposée sur le sol, on ne pourra créer un nuage explosif que si elle n'est pas trop collante : pour apprécier la cohésion des poussières, on mesure la force nécessaire pour étaler un tas de poussières.

La température d'auto-inflammation d'une poussière est la température minimale à partir de laquelle un nuage de poussières s'enflamme spontanément dans l'air. Pour la plupart des poussières organiques explosives, cette température est comprise entre 300 et 700 °C. On peut déterminer également une température d'auto-inflammation pour les mêmes poussières déposées en couche. Cette dernière température est souvent beaucoup plus basse (entre 150 °C et 350 °C), tableau IV [9].

L'énergie minimale d'inflammation d'une poussière est l'énergie minimale qu'il faut apporter au nuage de poussières pour pouvoir l'enflammer. Sa valeur dépend de la matière des poussières. Elle se situe entre 0,005 et 1 joule pour la quasi totalité des poussières inflammables de granulométrie inférieure à 100 µm.

Poussières	Concentration minimale d'explosion (nuage) (g/m^3)	Température d'auto-inflammation °C couche	nuage	Energie minimale d'inflammation (nuage) (mJ)
	Poussières d'origine agricole			
Cellulose	55	270	480	80
Sucre	45	400	370	30
	Poussières métalliques			
Aluminium	40	750	640	60
	Matières carbonées			
Charbon	55	170	610	60
	Produits chimiques			
Vitamine C (acide ascorbique)	70	280	460	60
Soufre	35	220	190	15
	Matières plastiques, caoutchoucs			
Caoutchouc brut	25	-	350	50
Résine époxy pure	20	-	540	15

Tableau IV :
Caractéristiques de poussières inflammables

Les pressions maximales développées dans l'enceinte soumise à l'explosion de poussières sont de l'ordre de 5 à 10 bars mais c'est la vitesse maximale de montée en pression de 300 à 1 400 bar/s qui produit les effets les plus destructeurs.

4 - LES MODES DE PROTECTION DU MATERIEL ELECTRIQUE POUR ATMOSPHERES GAZEUSES

Les modes de protection sont des mesures spécifiques appliquées au matériel électrique pour éviter l'inflammation d'une atmosphère environnante [3] par :

- suppression de l'atmosphère explosive au niveau du matériel (mode de protection par surpression interne, encapsulage ou immersion dans l'huile),
- suppression des sources d'inflammation (mode de protection par sécurité augmentée ou sécurité intrinsèque),
- non propagation de l'inflammation (mode de protection par enveloppe antidéflagrante ou remplissage pulvérulent).

Le matériel électrique pour atmosphères explosibles est divisé en :

- Groupe I : Matériel électrique destiné aux mines grisouteuses.
- Groupe II : Matériel électrique destiné à des lieux en atmosphères explosives autres que les mines grisouteuses.

Pour certains modes de protection, enveloppe antidéflagrante "d" et sécurité intrinsèque "i", le matériel électrique du Groupe II est subdivisé en II A, II B et II C dont les gaz de référence sont respectivement le propane, l'éthylène et l'hydrogène, tableau II.

Les normes obligatoires de construction de matériel électrique sont les normes européennes publiées sous les références françaises NF EN 50014 à NF EN 50028.

La **norme EN 50014** [6] donne des **définitions générales** (classement des gaz et vapeurs en groupes, des températures maximales de surface) et fixe des **prescriptions communes** (enveloppes, fermetures, orifices de ventilation, entrées de câbles, vérifications et épreuves, marquage) pour les sept modes de protection reconnus [6].

4.1 - Protection par immersion dans l'huile "o"

Ce mode de protection [10] est pratiquement applicable aux **matériels d'interruption** (interrupteurs, disjoncteurs) et aux **matériels statiques** (transformateurs, bobinages divers, boîtiers de connexions).

Son choix impose des **contraintes de mise en oeuvre et d'exploitation** telles que :

- choix des pouvoirs de coupure pour limiter la température de surface de l'huile ;
- surveillance des niveaux et surveillance des températures (si celle-ci n'est pas automatique).

4.2 - Protection par surpression interne "p"

Ce mode de protection [11], qui consiste à introduire dans des enveloppes un gaz de protection (air, azote) à une pression supérieure d'au moins 0,5 mbar à la pression de l'atmosphère environnante, s'applique principalement :

- aux enveloppes contenant de l'appareillage électrique,
- aux machines tournantes pour lesquelles le gaz de surpression peut servir ou sert de fluide de refroidissement.

Son choix impose les **contraintes** suivantes :

- dispositifs de protection particuliers (alarme et/ou arrêt) en cas de baisse de la surpression,
- balayage préalable à toute mise en marche par un volume de gaz de protection au moins égal à 5 fois le volume de l'enveloppe et des canalisations qui lui sont raccordées.

4.3 - Protection par remplissage pulvérulent "q"

Ce mode de protection [12] peut convenir à tout **matériel statique** tel que transformateurs, bobinages divers.

Le matériau de remplissage de l'enveloppe doit répondre à certaines conditions techniques en ce qui concerne :

- la rigidité diélectrique et le degré de pureté ;
- la granulométrie et le tassement ;
- l'humidité au moment du remplissage.

Les critères ci-dessus sont définis seulement pour le quartz.

Il est déconseillé de tenter de réaliser sur place ce mode de protection pour des boîtes de connexion ou de dérivation après raccordement des conducteurs lors de leur installation.

4.4 - Protection par enveloppe antidéflagrante "d" [13]

C'est le mode de protection le plus ancien et le plus général puisqu'il convient à tous les types de matériel d'où l'abus de langage qui en est fait **à tort** pour désigner tout matériel utilisable en atmosphères explosibles.

Dans ce mode de protection l'enveloppe doit **résister à la pression** d'une explosion interne d'un mélange explosif. Sa construction doit **empêcher la transmission** de l'explosion à l'atmosphère explosive environnante de l'enveloppe. La non-propagation de l'explosion est obtenue par refroidissement des gaz de combustion, par **laminage** de ceux-ci au travers des interstices le long des joints d'assemblage, des arbres et paliers ainsi que des entrées de câbles.

Son choix impose les **contraintes** suivantes :

- nécessité de vérifier le serrage de nombreux boulons d'assemblage de l'enveloppe avec les couvercles et les entrées de câbles ;
- nécessité de prévoir, dans les régions à fortes variations hygrométriques, une "respiration" des enveloppes et le drainage des condensations.

Ce mode de protection conduit à un matériel lourd.

4.5 - Protection par sécurité augmentée "e"

Ce mode de protection [14], qui convient aux matériels ou parties de matériels électriques de tension nominale inférieure à 11 kV ne produisant en service normal ni arc, ni étincelle, ni échauffement dangereux, est obtenu par application de coefficients de sécurité élevés dans les dimensionnements et par des dispositions constructives appropriées (qualité des matériaux, distances dans l'air et lignes de fuites, surdimensionnement des entrefers).

Ce mode de protection est particulièrement adapté pour les matériels suivants :

- appareils d'éclairage incandescents ou fluorescents (à l'exception des lampes contenant du sodium libre). La norme fixe des distances minimales entre la lampe et le verre de protection ;
- appareils de mesure et transformateurs de mesure ;
- moteurs asynchrones à rotor à cage et à ventilation extérieure.

4.6 - Protection par encapsulage "m"

Ce mode de protection [15] est tel que les pièces qui pourraient enflammer une atmosphère explosive par des étincelles ou par des échauffements sont enfermées dans un matériau dit "compound" de telle manière que l'inflammation ne puisse se produire.

Des matériaux thermodurcissables, thermoplastiques, résines époxydes (réaction à froid) et élastomères, avec ou sans charge et/ou additifs, sont considérés, après leur solidification, comme étant des compound.

Ce mode de protection est applicable en particulier aux composants électroniques, transformateurs, bobinages, coupe-circuit à fusibles, certains types de piles ou accumulateurs.

4.7 - Protection par sécurité intrinsèque "i" [16]

Dans les **circuits** à sécurité intrinsèque, aucune étincelle ni aucun effet thermique en fonctionnement normal ou dans des conditions spécifiées de défaut, n'est capable de provoquer l'inflammation d'une atmosphère explosive donnée.

Un **matériel** est dit de sécurité intrinsèque s'il ne comporte que des circuits à sécurité intrinsèque.

Le **matériel électrique associé** peut être :

- soit un matériel protégé au moyen d'un des six modes de protection définis précédemment s'il est situé dans la même ou une autre atmosphère explosible,
- soit un matériel ordinaire placé dans une atmosphère non explosible.

Exemple :

Un enregistreur de température placé hors atmosphère explosible est un matériel associé lorsque son circuit d'entrée comporte un thermocouple placé en atmosphère explosible. Le circuit du thermocouple est de sécurité intrinsèque.

A l'inverse des autres modes de protection dont la sécurité est principalement assurée par l'enveloppe du matériel ce qui condamne l'ouverture sous tension du matériel, la protection par sécurité intrinsèque est assurée par les circuits électriques eux-mêmes ce qui peut permettre leur accessibilité sous tension.

4.8 - Systèmes électriques de sécurité intrinsèque [17]

Cette norme définit des prescriptions concernant l'association de plusieurs matériels reconnus de sécurité intrinsèque et l'application de ses prescriptions permet entre autre l'utilisation de câble multiconducteurs qui assurent les liaisons entre plusieurs circuits indépendants de sécurité intrinsèque sans avoir à considérer leur mélange. Un tel mélange conduirait en général à un circuit non de sécurité intrinsèque.

5 - LES PROTECTIONS DU MATERIEL ELECTRIQUE POUR ATMOSPHERES POUSSIEREUSES

Comme pour les risques d'explosion dus aux gaz et aux vapeurs, il importe d'examiner toutes les possibilités pour éliminer ce risque avant de rechercher du matériel électrique adapté au risque d'explosion de poussières.

Ces possibilités sont les suivantes :

- supprimer l'utilisation des poudres inflammables,
- éviter la formation de poussières inflammables,
- travailler en circuit fermé,
- travailler sous atmosphère inerte,
- mettre en place des aspirations à la source,
- éviter les dépôts de poussières sur les appareils et structures des bâtiments ou à défaut nettoyer fréquemment,
- réduire au minimum l'appareillage électrique utilisé.

Les principes de la protection des matériels électriques utilisés en présence de poussières explosibles sont les suivants :

- les appareils doivent être suffisamment étanches pour éviter la pénétration des poussières,
- la surface des matériels ne doit pas pouvoir atteindre une température capable d'enflammer les poussières en couche ou en nuage,
- le matériel doit être conçu pour éviter l'accumulation des poussières ou fibres.

Les normes concernant les matériels électriques destinés à être utilisés en présence de poussières inflammables sont en cours d'élaboration à la CEI par le sous-comité 31 H [4]. Le principe de la protection est que toutes les sources potentielles d'inflammation soient contenues dans une enveloppe qui soit de bonne qualité industrielle, qui ne présente pas de risque électrostatique, qu'elle présente une étanchéité à la poussière et que la température maximale de surface soit connue. Cette température maximale de surface ne doit pas dépasser les 2/3 de la température d'inflammation Ti du nuage poussière/air considéré et la température minimale d'inflammation pour une épaisseur de couche de 5 mm de la poussière concernée minorée de 75 K (Tmax = Tmin - 75 K et Tmax = 2/3. Ti).

6 - LA REGLEMENTATION RELATIVE AUX ATMOSPHERES EXPLOSIBLES

La réglementation française pour les industries à risques couvre principalement les circuits et matériels électriques utilisables en atmosphères explosibles. Les matériels électriques en particulier doivent être certifiés conformes pour utilisation en atmosphères explosibles.

La réglementation relative à la construction des matériels est de la compétence du ministère de l'Industrie.

La réglementation relative à l'utilisation des matériels est de la compétence :

- du ministère du Travail, textes d'applications générales,
- du ministère de l'Industrie pour les secteurs de l'énergie (pétrole, mines),
- du ministère de la Défense pour certains établissements pyrotechniques.

6.1 - Décret n° 88.1056 du 14 novembre 1988

Le décret n° 88.1056 du ministère du Travail [18] s'applique à la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en oeuvre les courants électriques ; voir en particulier l'article 43 concernant les locaux ou emplacements présentant des dangers d'incendie et l'article 44 concernant les zones présentant des risques d'explosion.

6.2 - Décret n° 78.779 du 17 juillet 1978

Le décret n° 78.779 du ministère de l'Industrie [19] prescrit en outre que le matériel électrique doit être conforme à des types ayant obtenu un certificat de conformité ou de contrôle pour utilisation en atmosphère explosible. Il définit les procédures de certification, introduit une surveillance et renvoie à des arrêtés spécifiques selon la destination des matériels.

6.3 - Arrêté du 31 mars 1980

L'arrêté du 31 mars 1980 du ministère de l'Environnement [20] s'applique aux installations classées pour la protection de l'Environnement et distingue deux types de zones dans lesquelles peuvent apparaître des atmosphères explosibles :

- de façon permanente ou semi-permanente en fonctionnement normal,
- de manière épisodique avec une faible fréquence et de courte durée.

L'arrêté insiste sur l'importance de la responsabilité de l'exploitant pour définir les zones à risque d'explosion.

6.4 - Directive SEVESO du 24 juin 1982, modifiée en 1987 et 1988

La prévention des risques industriels se fait en France à travers la législation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) [21]. Elle se réfère à une nomenclature qui, selon la nature de l'activité et le produit employé ou stocké, définit des seuils de classement en fonction des quantités de référence (poids, volume, puissance, surface...). Elle distingue deux types d'activité :

- activité soumise à autorisation préalable "A" (risque majeur). Le préfet, conseillé par la DRIRE, délivre un arrêté

d'autorisation d'exploitation intégrant toutes les prescriptions de sécurité, en particulier celles liées aux risques d'explosion,

- activité soumise à la déclaration "D". Le préfet délivre un récépissé de déclaration en y joignant les prescription des arrêtés types qui, dans la majorité des cas reprennent les prescriptions de l'arrêté ministériel du 31 mars 1980.

6.5 - Arrêté du 11 août 1983

L'arrêté du 11 août 1983 du ministère de l'Environnement concerne les silos de stockage de produits organiques [22].

6.6 - Arrêté du 19 décembre 1988

L'arrêté du 19 décembre 1988 du ministère du Travail [23] distingue trois types de zones : zone 0, zone 1 et zone 2 pour les atmosphères explosibles gazeuses. En outre il fournit des précisions concernant le risque d'explosion des atmosphères explosibles poussiéreuses.

7 - DETERMINATION DES EMPLACEMENTS A RISQUE D'EXPLOSION

Le guide d'études, de réalisation et de maintenance de l'UIC [2] propose des règles pour déterminer des emplacements dangereux et fournit un exemple de méthodologie permettant la classification des emplacements dangereux, figure 2. Nous rappelons que la protection par inertage consiste à abaisser la teneur en oxygène de l'air d'une enceinte à une valeur suffisamment faible pour que l'atmosphère résultante ne puisse pas être explosive quelle que soit la concentration en gaz ou vapeurs inflammables. Le gaz d'inertage généralement employé est l'azote, et parfois du gaz carbonique.

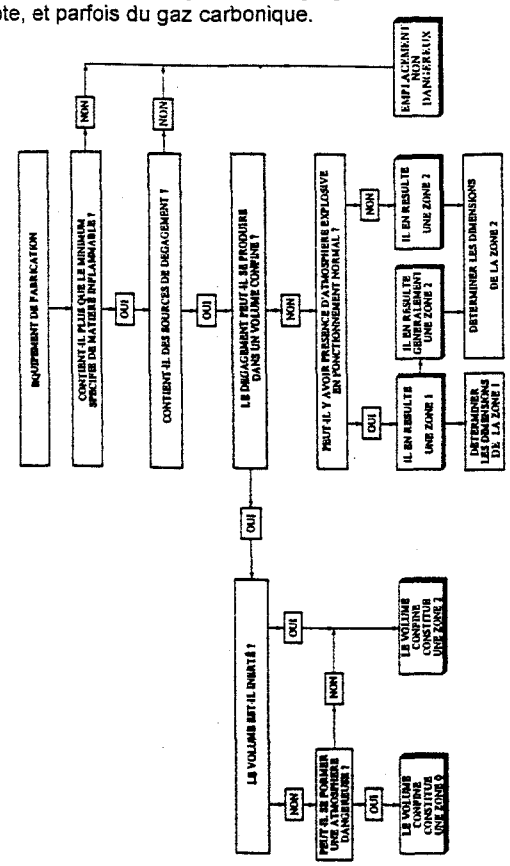


Figure 2 :
Exemple de schéma logique permettant la classification des emplacements dangereux.

Un moyen de réduire l'étendue d'une zone de type 1 dans un bâtiment est la protection par aspiration à la source. La diffusion des gaz ou vapeurs inflammables loin de leur zone d'émission est empêchée par le maintien d'une dépression locale tendant à canaliser le mélange gazeux (par l'intermédiaire de gaines) vers des zones dans lesquelles sa présence ne présente pas de risque d'explosion. Ce moyen de protection est utilisable dans les ateliers où le nombre de points d'émission est faible.

Autrement il faut réaliser une aspiration générale du bâtiment. Mais ces moyens transfèrent l'atmosphère explosible à l'extérieur du bâtiment, en général en toiture, à l'aide de cheminées souvent métalliques ou dans des dispositifs de récupération lorsque les produits sont polluants. L'impact de la foudre sur ou au voisinage de ces conduits ou de ces dispositifs de récupération doit être exclu.

Le projet de norme CEI 79-10 2ème édition [1] propose également des règles pour déterminer des zones dangereuses et des exemples de calcul des dimensions de ces zones.

Deux exemples parmi ceux indiqués dans le projet illustrent le volume des zones 1 et 2 lorsqu'il existe des possibilités de fuite du carburant, figures 3 et 4.

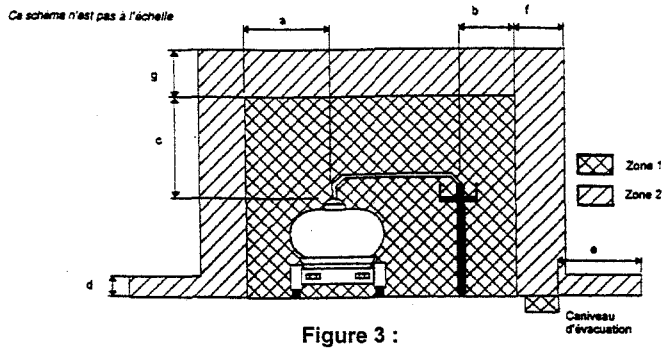


Figure 3 :
Installation de remplissage de camions-citernes, à l'extérieur, pour de l'essence, remplissage par le haut.

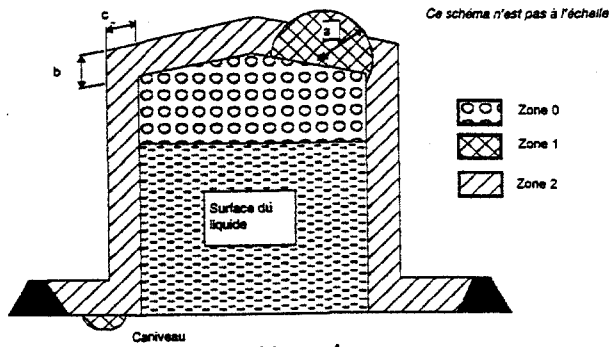


Figure 4 :
Réservoir de stockage de liquide inflammable, situé à l'extérieur, comportant un toit fixe et ne comportant pas de toit flottant intérieur.

Bien que toute la structure d'un réservoir soit métallique, la figure 4 montre qu'un impact de foudre peut enflammer l'atmosphère explosive au niveau d'un évent ou de toute fuite. Le système de protection foudre devrait être disposé au delà de ces zones explosives.

En ce qui concerne l'exemple de la figure 3, il est préférable de différer le chargement du carburant pendant l'orage, même lorsque le camion citerne est abrité.

8 - LA MANUTENTION DE PRODUITS PRODUISANT DES POUSSIERES INFLAMMABLES

Les installations classées transportant, manipulant et stockant des produits agro-alimentaires générateurs de poussières inflammables sont classées en zone explosible de type 20, 21 et 22. Un bâtiment comportant par exemple un broyeur de graines peut être classé en zones 20 et 21 lorsque de la poussière est mise en suspension pendant le broyage et que les différentes opérations (chargement de la trémie, ensachage...) s'effectuent à l'air libre, voir figure 5a. Il faut donc exclure à l'intérieur du bâtiment toute possibilité d'étincelles susceptibles d'être produites par l'impact de la foudre sur la structure du bâtiment.

Les zones 20 et 21 peuvent être réduites en plaçant des dispositifs d'aspiration de poussières au-dessus des sources de dégagement de poussières, figure 5b. Outre le confort pour le personnel, des matériels électriques de sécurité pour la zone 22 moins coûteux que ceux utilisés pour les zones 20 et 21, peuvent être utilisés. Les poussières collectées dans des gaines d'aspiration sont acheminées vers un dépoussiéreur à manche filtrante qui réduit les rejets de poussières à l'extérieur à une concentration inférieure à 50 mg/m³. Cette valeur de 50 mg/m³, imposée par la réglementation, est très inférieure aux valeurs de concentrations explosives de 30 à 70 g/m³ de la majorité des poussières combustibles [3].

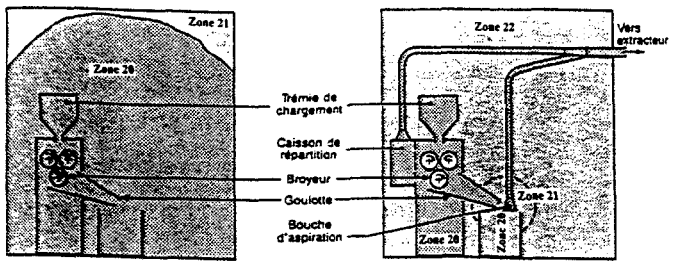


Figure 5

L'impact de foudre sur la cheminée métallique de rejet ne provoquera pas l'explosion des rejets mais le courant de foudre peut cheminer dans les conduits d'extraction et en particulier en amont du dépoussiéreur où peuvent exister des concentrations explosives.

Deux causes d'explosion peuvent se produire :

- étincelage au niveau des discontinuités éventuelles de gaines d'aspiration,
- étincelles par charge et décharge de la poussière, qui est en général isolante, du fait de l'élévation en potentiel des gaines d'extraction pendant le passage du courant de foudre.

En conséquence, les gaines en aval du dépoussiéreur et en particulier la cheminée de rejet devront être très bien reliées à la terre par le plus court chemin possible.

Le chargement et le déchargement de silo de produits agro-alimentaires [24] engendrent également des atmosphères explosives poussiéreuses, figure 6. En outre, certains produits comme les tourteaux peuvent éventuellement désorber du solvant qui a servi à extraire l'huile de la graine, créant en plus des atmosphères explosives gazeuses.

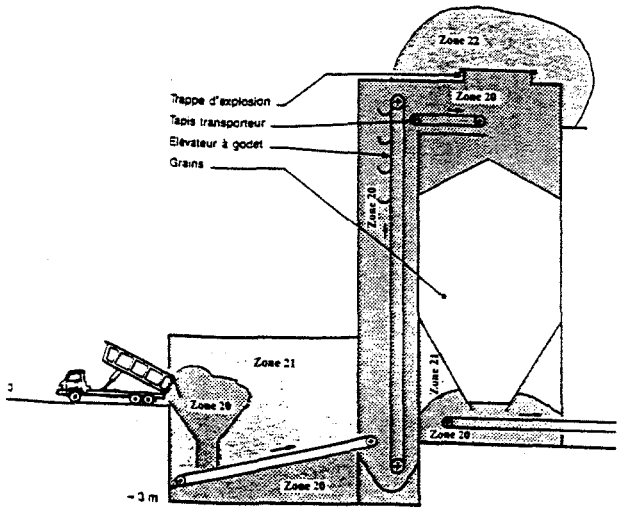


Figure 6

9 - LA PROTECTION FOUDRE DES INSTALLATIONS A RISQUE

En général, l'étude préalable d'une installation classée comprenant des emplacements à risque d'explosion conclura à la mise en oeuvre de protection vis-à-vis de la foudre. Toutefois le système de protection foudre devra être choisi judicieusement pour ne pas augmenter, par les effets de pointe ou autres, la probabilité d'impact sur l'installation.

Par ailleurs les effets indirects tels que les étincelles possibles sur le chemin ou à proximité de l'écoulement du courant de foudre devront être réduits voire exclus.

Au cours de ces dernières années, trois canalisations de gaz enterrées de 5 mm d'épaisseur, ont été perforées par la foudre. Ces perforations ont été mises en évidence par la fuite de gaz et son inflammation au cours ou en fin d'orages. Les cratères sur les canalisations ont indiqué que l'impact de foudre a fondu et expulsé un volume d'acier relativement important estimé à 1 200 mm^3 pour l'un des cratères et à 2 900 mm^3 pour un autre nécessitant une énergie respectivement de 7 300 J et 17 400 j environ, soit une charge de 340 C et de 814 C en considérant une tension d'arc de 20 volts. De tels impacts ne semblent possibles qu'avec des intensités de courant de foudre pouvant en valeur crête dépasser 500 kA pour la première impulsion, ce qui correspond à moins de 1 % des courants crête de foudre, et surtout des courants de valeur et de durée relativement élevées par rapport aux valeurs moyennes estimées pour provoquer de tels cratères, suffisamment profonds pour percer une canalisation de 5 mm d'épaisseur.

Cet exemple d'accident exceptionnel montre que des canalisations de gaz et éventuellement des réservoirs dont l'épaisseur des parois est de 5 mm peuvent contre toute attente être percées par la foudre. Toutefois un tel événement concerne moins de 1 % des impacts de foudre se produisant sur un site ce qui peut être acceptable compte tenu de l'occurrence d'impact en général faible sur un emplacement donné de surface inférieure à un hectare.

Toutefois, il est préférable que les parois et séparations des emplacements à zone 0 ne soient pas accessibles aux impacts directs de la foudre. En conséquence ces emplacements doivent se situer à l'intérieur des infrastructures accessibles par la foudre.

Le canal de foudre et le point de connexion foudre sur une structure ou un système de protection foudre étant à température très élevée doivent être exclus de la zone 1 où l'atmosphère explosive peut se produire occasionnellement en fonctionnement normal du process. En conséquence, le système de protection foudre (SPF) devra être placé à l'extérieur du volume délimité par la zone 1.

Le volume de la zone 1 pour les gaz et de la zone 21 pour les poussières est en général défini pour le choix des matériels électriques destinés à être placés dans cette zone pour le fonctionnement du process. Pour éviter d'avoir différents types de matériel dans une unité où se trouvent des emplacements à risque d'explosion, le chef d'établissement définit des volumes à protéger parfois importants pour assurer au mieux la sécurité vis-à-vis du risque permanent apporté par le matériel électrique. Il est probable que pour la protection vis-à-vis de la foudre où le risque est à faible occurrence, le volume de la zone 1 considérée puisse être réduit. Toutefois la définition des emplacements à risque d'explosion est de la compétence du chef d'établissement et des DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement) et une réduction du volume de la zone 1 vis-à-vis du risque foudre devra être justifiée.

Par ailleurs la zone 1 est souvent déterminée par des opérations particulières telles que les mouvements de produits inflammables, (remplissage, purge, évacuation, transport...) auxquelles il est possible de surseoir à l'approche d'un orage en mettant l'installation en veille et/ou en l'isolant des réseaux extérieurs. De telles mesures préventives sur le process peuvent réduire les emplacements à risque d'explosion et parfois être le seul moyen pour éviter une explosion.

Comme dans la zone 2 l'atmosphère explosive ne peut être présente qu'en fonctionnement anormal de l'installation et que la durée de présence éventuelle est faible, le SPF peut être installé dans cette zone 2 qui entoure la zone 1 et/ou la zone 0. Toutefois si le dispositif de capture de la foudre comporte des circuits électriques destinés à favoriser la capture, il devra répondre à la réglementation des matériels électriques utilisables en atmosphères explosibles, en particulier lorsqu'une source d'alimentation est présente constamment.

Une structure métallique importante et bien reliée au circuit de terre ou un système de protection foudre adéquat peut donc envelopper un emplacement à risque d'explosion défini par une zone 0 et/ou 1.

Comme une partie du courant de foudre va se disperser dans toutes les structures métalliques de l'installation et que des potentiels importants peuvent se produire entre parties métalliques voisines isolées volontairement ou involontairement, des dispositions doivent être prises pour exclure toutes possibilités d'étincelles dans les zones 0 et 1 de l'installation.

Les composants naturels ou ajoutés pour favoriser l'écoulement des courants de foudre et leur dispersion dans le sol devront être conformes aux normes en vigueur définis dans l'arrêté du 28 janvier 1993 [25] et l'équipotentialité des masses et des terres devra être réalisée et vérifiée.

En effet, l'installation d'un système de protection foudre externe, bien que nécessaire, peut être encore insuffisante pour exclure toutes sources d'inflammation secondaires, liées au passage du courant de foudre dans les structures de l'installation et à l'influence de l'élévation en potentiel de la structure sur le contenu lui-même.

Ce qui importe est la protection du contenu de l'installation industrielle et rarement la protection des infrastructures elles-mêmes sauf si elles ont une incidence directe sur le contenu.

En conséquence, l'étude préalable de la protection foudre d'une installation classée devra tenir compte surtout du contenu de l'installation, des diverses opérations qui agissent sur ce contenu : transport, manipulation, production, conditionnement, stockage, et des réseaux pénétrant dans l'installation susceptibles d'induire des effets secondaires des courants de foudre.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Projet de norme CEI 79-10 - Classement des régions dangereuses - Document 31 J/39/FDIS.

[2] Guide d'étude, de réalisation et de maintenance des installations électriques en atmosphère explosive - Edition 1995 de l'UIC - Union des Industries Chimiques.

[3] INRS - Les mélanges explosifs - 1994 - ED 335.

[4] Norme CEI 1241 (1-1, 1-2 et 2-2) Matériels électriques destinés à être utilisés en présence de poussières combustibles :

- 1-1 : Matériels électriques protégés par enveloppes - Section 2 : Sélection, installation et entretien du matériel - 1993.

- 1-2 : Méthodes d'essais - Section 2 : Méthode de détermination de la résistivité électrique des couches de poussières - 1993.

- 2-2 : Méthode de détermination de l'énergie minimale d'inflammation des mélanges air/poussières - 1994.

[5] CEN pr EN 1127-1 - Atmosphères explosives - Prévention de l'explosion et protection contre l'explosion - Notions fondamentales et méthodologie.

[6] Norme EN 50014 - 1992 - (NF EN 50014 - avril 1993) - Matériel électrique pour atmosphères explosibles - Règles générales.

[7] Norme CEI 79-4 - 1975 - Quatrième partie : Méthode d'essai pour la détermination de la température d'inflammation. Amendement 1 (1995).

[8] Norme CEI 79-1A - 1975 - Premier complément : Annexe D : Méthode d'essai pour la détermination de l'interstice expérimental maximal de sécurité.

[9] INRS - Etude documentaire 748. Les installations et équipements électriques dans les zones à risques d'explosion.

[10] Norme EN 50015 - 1994 - (NF EN 50015 - mai 1995) - Matériel pour atmosphères explosibles - Protection par immersion dans l'huile "o".

[11] Norme EN 50016 - 1995 - (NF C 23-516 - juin 1977) - Matériel pour atmosphères explosibles - Protection par surpression interne "p".

[12] Norme EN 50017 - 1994 - (NF EN 50017 - mai 1995) - Matériel pour atmosphères explosibles - Protection par remplissage pulvérulent "q".

[13] Norme EN 50018 - 1994 - (NF EN 50018 - avril 1996) - Matériel pour atmosphères explosibles - Protection par enveloppe antidéflagrante.

[14] Norme EN 50019 - 1994 - (NF EN 50019 - janvier 1996) - Matériel pour atmosphères explosibles - Protection par sécurité augmentée "e".

[15] Norme EN 50028 - 1987 - (NF EN 50028 - décembre 1987) - Matériel pour atmosphères explosibles - Protection par encapsulage "m".

[16] Norme EN 50020 - 1994 - (NF EN 50020 - avril 1995) Matériel électrique pour atmosphères explosibles - Sécurité intrinsèque "i".

[17] Norme EN 50039 - première édition - Mars 1980 - Matériel électrique pour atmosphères explosibles - Systèmes électriques de sécurité intrinsèque "i".

[18] Ministère du travail - Décret n° 88-1056 du 14 novembre 1988 et sa circulaire d'application du 6 février 1989 concernant la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en oeuvre des courants électriques.

[19] Ministère de l'Industrie - Décret n° 78-779 du 17 juillet 1978 (modifié le 5 mai 1981) portant règlement de la construction du matériel électrique utilisable en atmosphère explosive.

[20] Ministère de l'Environnement - Arrêté du 31 mars 1980 concernant les installations électriques des installations classées et susceptibles de présenter des risques d'explosion.

[21] Directive SEVESO du 24 juin 1982, modifiée en 1987 et 1988, concernant les risques d'accidents majeurs de certaines activités industrielles.

[22] Ministère de l'Environnement - Arrêté du 11 août 1983. Relatif aux règles techniques auxquelles doivent satisfaire les silos et les installations de stockage de céréales, graines, produits alimentaires et tous autres produits organiques dégageant des poussières inflammables, au titre de la protection de l'environnement.

[23] Ministère du Travail - Arrêté du 19 décembre 1988 relatif aux conditions d'installations des matériels électriques sur les emplacements représentant des risques d'explosion.

[24] INRS - recommandation R266 - Stockage de produits alimentaires pulvérulents - Prévention des risques d'incendie et d'explosion.

[25] Ministère de l'environnement - Arrêté du 28.011993 concernant la protection contre la foudre de certaines installations classées.