



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

Classification en zones explosives poussiéreuses

Rapport final

MATE

D. CARSON

Direction des Risques Accidentels

MAI 2001

Classification en zones explosives poussiéreuses

Rapport final

MATE

AOUT 2000

Ce document comporte 27 pages (hors couverture).

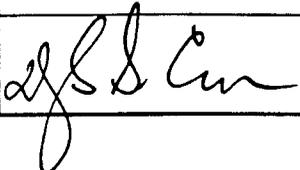
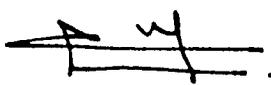
	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	D. CARSON	A. CZYZ	D. GASTON
Qualité	Ingénieur Sécurité des Procédés	Ingénieur Direction de la certification	Directeur Adjoint Direction des Risques Industriels
Visa			

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	3
2. OBJECTIFS DU CLASSEMENT EN ZONES.....	3
3. RÉGLEMENTATION ET NORMES	4
3.1 Historique	4
3.2 Réglementations françaises et européennes relatives aux explosions de poussières	5
4. ATMOSPHÈRES EXPLOSIVES	10
4.1 Caractérisation des poussières Inflammables.....	10
4.2 Formation des atmosphères explosives	11
4.3 Particularités des poussières par rapport aux gaz et vapeurs.....	12
5. MÉTHODE DE CLASSEMENT	15
5.1 Rassembler les caractéristiques des produits.....	15
5.2 Analyse fonctionnelle de l'installation.....	16
5.3 Identifier les sources de dégagement de poussières	16
5.4 Déterminer la probabilité d'apparition d'une atmosphère explosive	17
5.5 Identifier l'étendue des zones.....	18
5.6 Affectation des Zones.....	18
5.7 Documenter les résultats du classement.....	20
6. EXEMPLES PRATIQUES	20
6.1 Exemple n°1 : Poste de vidage de sacs à l'intérieur d'un bâtiment	20
6.2 Exemple n°2 : Cyclone suivi d'un filtre à manche.....	23

1. INTRODUCTION

Les exploitants d'installations industrielles, conformément à divers textes réglementaires (code du travail, directives européennes, arrêtés, etc), sont dans l'obligation de réaliser un classement de zones pour les emplacements où une atmosphère explosive dangereuse est susceptible d'apparaître à cause du risque d'explosion de poussières.

Ce classement est basé sur la probabilité d'occurrence d'une atmosphère explosive et permet la sélection des équipements possédant un niveau de sécurité adapté pour l'utilisation dans ces emplacements.

L'objectif de ce rapport est de présenter une méthode, basée sur des normes ou des projets de normes, permettant de classer ces zones.

Ce rapport donne la position de l'INERIS à ce jour, compte tenu de l'état des connaissances et de l'évolution des textes disponibles (directives, normes, ...).

Avertissement au lecteur : La Directive 1999/92/CE est en cours de transposition en droit français. Elle contient des dispositions autres que celles concernant le classement en zones : notamment l'exigence d'un document relatif à la protection contre les explosions. Le présent rapport se limite au classement de zones.

2. OBJECTIFS DU CLASSEMENT EN ZONES

D'après la directive 1999/92/CE, l'objectif du classement en zones d'une installation est double :

- permettre de préciser la catégorie de matériel (niveau de sécurité) à installer dans un emplacement donné, et
- fournir des éléments indispensables pour l'analyse des risques.

Afin de définir les mesures nécessaires pour éviter les sources d'inflammation (surtout pour la sélection correcte des matériels électriques et non-électriques), les emplacements dangereux sont classés en zones en se basant sur la fréquence et la durée d'occurrence d'une atmosphère explosive dangereuse. Dans des situations où une atmosphère explosive de poussières a une grande probabilité d'être présente, la sécurité réside dans l'emploi de matériels électriques et non-électriques qui sont conçus pour avoir une très faible probabilité d'être la source d'inflammation nécessaire à l'occurrence d'une explosion.

Cette démarche est une démarche probabiliste. En effet, pour avoir une explosion de poussières, il faut que soient réunies simultanément, au même endroit, une atmosphère explosive et une source d'inflammation. La probabilité d'avoir ces deux événements en même temps est le produit de la probabilité de la présence d'une atmosphère explosive et de la probabilité d'apparaître d'une source d'inflammation (dans l'hypothèse où les deux événements sont indépendants).

Toutefois, pour assurer la prévention des explosions de poussière, cette démarche présente les limites suivantes :

- L'apparition d'une atmosphère explosive et l'apparition d'une source d'inflammation peuvent ne pas être des événements indépendants : un seul phénomène est à l'origine de l'apparition simultanée de l'atmosphère explosive et de la source d'inflammation. Par exemple, une sangle qui se casse dans un élévateur à godet, la foudre qui soulève un dépôt de poussières ,...
- Il existe des sources d'inflammation qui ne sont pas liées aux matériels ou aux appareils ; par exemple la foudre, les flammes nues (cigarette), une mauvaise mise à la terre, l'auto-échauffement, les travaux par point chaud, ...
- Le matériel peut fournir indirectement une source d'inflammation, par exemple la mise à feu d'un solide combustible mais non explosible par un appareil générateur de chaleur qui fournit ensuite la source d'inflammation d'une atmosphère explosive,
- L'inflammation d'un nuage de poussières est aggravée si le nuage est confiné, car le phénomène est générateur d'une onde de pression, en plus de l'impact thermique,
- Le classement en zones est indépendant de la propagation et de la gravité d'une explosion éventuelle qui se produirait dans une zone classée.

Tous ces aspects doivent être pris en compte lors de l'évaluation des risques. Le classement en zone permet de choisir les appareils et les systèmes de protection adaptés.

3. REGLEMENTATION ET NORMES

3.1 HISTORIQUE

Le classement en zones a souvent été utilisé pour déterminer le niveau de sécurité nécessaire de matériels électriques devant être installés dans des atmosphères explosibles de gaz et de vapeurs.

Après le succès de cette démarche, celle-ci a été appliquée aux poussières.

La plupart des pays (le Royaume Uni, les Etats-Unis, l'Allemagne, la France...) avaient d'abord adopté un système de classement en deux zones pour les poussières. Mais dans les années 1990, un système de classement en trois zones a été retenu dans les normes suivantes :

- EN 1127-1 juin 1997 “ Atmosphères explosives – Prévention de l'explosion et protection contre l'explosion Partie 1 : Notions fondamentales et méthodologie ”,

- CEI 61241-3 (1997) “ Matériels électriques destinés à être utilisés en présence de poussières combustibles --Partie 3 : Classification des emplacements où des poussières combustibles sont ou peuvent être présentes ”.

Depuis, la tendance européenne est à l’harmonisation sur la base du système de classement en trois zones.

Ce choix a été entériné par la directive 1999/92/CE, qui donne les définitions des zones et formera la base de la réglementation dans les pays d’Europe. La date d’application de cette directive est au plus tard le 30 juin 2003.

Un groupe de travail Ad-hoc CEN/CENELEC, dont fait partie notamment M. CZYZ de l’INERIS, a été constitué pour élaborer une norme européenne qui reprenne les définitions des zones de la directive 1999/92/CE et de la norme EN 1127-1. Le groupe s’est inspiré de la méthodologie donnée par la norme CEI 61241-3 (qui possède des définitions différentes). Un projet de norme (prEN 50281-3) a été élaboré et devrait être adopté en 2001. Ce projet décrit, entre autres, une procédure pour le classement des zones d’atmosphères explosives de poussières.

3.2 REGLEMENTATIONS FRANÇAISES ET EUROPEENNES RELATIVES AUX EXPLOSIONS DE POUSSIÈRES

3.2.1 Réglementation française

Au niveau national, il y a peu de dispositions spécifiques relatives aux explosions de poussières. Les principales dispositions réglementaires générales sont :

- **L’Arrêté du 31 mars 1980** (Ministère de l’Environnement) qui stipule que « Les établissements réglementés au titre de la législation sur les installations classées pour la protection de l’environnement et dans lesquels une atmosphère explosive est susceptible d’apparaître, notamment en raison de la nature des substances solides, liquides ou gazeuses mises en œuvre, stockées, utilisées, produites ou pouvant apparaître au cours des opérations, sont soumis aux dispositions [énumérées dans l’arrêté]. L’exploitant d’un établissement visé définit sous sa responsabilité les zones dans lesquelles peuvent apparaître des atmosphères explosives :
- Soit de façon permanente ou semi-permanente dans le cadre du fonctionnement normal de l’établissement ,
- Soit de manière épisodique avec une faible fréquence et une courte durée. »

Cet Arrêté définit donc deux zones. Le niveau de sécurité des matériels électriques et des canalisations est défini par l’Arrêté en fonction de la zone où se trouve le matériel.

- **L'Arrêté du 19 décembre 1988** (Ministère du Travail) qui stipule que « lorsque le risque d'explosion provient de la présence de poussières ou fibres, le matériel électrique doit être conçu ou installé pour s'opposer à leur pénétration afin d'éviter tout risque d'inflammation ou d'explosion. En outre, des mesures doivent être prises pour éviter que l'accumulation de ces poussières ou fibres sur les parties des installations soit susceptible de provoquer un échauffement dangereux. Par conception des installations, ces échauffements doivent être limités de façon qu'ils ne puissent provoquer en fonctionnement normal, du fait de la température de surface, l'inflammation de ces poussières ou fibres. »
- **L'Arrêté du 29 juillet 1998** (Silos) (Ministère de l'Environnement) qui précise que « les zones où des atmosphères explosives peuvent se former sont définies sous la responsabilité de l'exploitant et doivent être signalées. » La circulaire d'application de cet arrêté précise qu'« une classification des zones d'atmosphères explosives est définie dans le projet de directive du Conseil (qui est maintenant la directive 1999/92/CE) concernant les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives... ». Les installations classées soumises à l'arrêté du 29 juillet 1998 doivent d'ores et déjà faire l'objet d'un classement en zones à risque.

3.2.2 Réglementation européenne

Il y a deux directives européennes dites ATEX (ATmosphères EXplosibles) :

- La directive 94/9/CE qui s'applique aux appareils et aux systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles,
- La directive 1999/92/CE qui fixe des prescriptions minimales de protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés aux risques d'atmosphères explosives. Entre autres, elle détermine la correspondance entre la probabilité d'occurrence d'une atmosphère explosive et les catégories de matériel (niveau de sécurité) définies par la directive 94/9/CE.

3.2.2.1 La directive 94/9/CE

La directive 94/9/CE fournit les exigences essentielles concernant la sécurité des appareils électrique et non-électrique destinés à être utilisés dans des atmosphères explosibles. Ceci est un élargissement de la portée de la réglementation par rapport aux réglementations nationales existantes, surtout en ce qui concerne les appareils non-électriques. Il est à noter que les directives précédentes ne concernaient que les atmosphères explosives formées par des gaz ou vapeurs inflammables alors que la directive 94/9/CE prend également en compte les atmosphères explosives poussiéreuses.

Les appareils qui sont destinés à être utilisés dans des atmosphères qui ne sont pas explosibles ou qui ne contiennent pas leur propre source d'inflammation (des canalisations simples, par exemple) ne sont pas concernés par cette directive.

La directive 94/9/CE du 23 mars 1994 a été transposée en droit français par le décret n° 96 1010 du 19 novembre 1996. A titre transitoire et jusqu'au 30 juin 2003, les matériels entrant dans le champ d'application du décret peuvent être mis sur le marché et mis en service s'ils satisfont à la réglementation en vigueur à la date du 19 novembre 1996.

Une « **atmosphère explosive** », pour les besoins de la directive 94/9/CE, est définie comme « un mélange :

- i) avec de l'air ;
- ii) dans les conditions atmosphériques,
- iii) de substances inflammables sous forme de gaz, vapeurs, brouillards ou poussières,
- iv) dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange non brûlé. ».

(on note que dans le cas des poussières, on entend par « mélange » un mélange sous forme de suspension et qu'il n'est pas nécessaire de consumer la totalité des poussières).

Une atmosphère, qui pourrait devenir explosive en raison des conditions locales et/ou opérationnelles, est appelée « **atmosphère explosible** ». Par exemple, l'atmosphère à l'intérieur d'une trémie est explosible même quand la trémie est entièrement vide si par la suite elle reçoit de la poussière qui peut former un nuage inflammable.

La directive 94/9/CE ne donne pas de définition des conditions atmosphériques. Néanmoins, on peut considérer une plage de température entre -20 °C et 60 °C et une plage de pression entre 0,8 et 1,1 bar.

Les appareils qui sont destinés à être utilisés dans les atmosphères explosibles, mais où un ou plusieurs éléments de i) à iv) sont absents, ne sont pas concernés par la directive 94/9/CE.

Un exemple d'atmosphère explosive sans air est un mélange d'hydrogène et de chlore ou des mélanges de substances inflammables avec un comburant autre que l'air.

3.2.2.1.1 Les Catégories

Les appareils entrant dans le champ d'application du décret n° 96-1010 du 19 novembre 1996 relatif aux appareils et aux systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosible (qui est la transposition française de la directive 94/9/CE) sont classées en deux groupes selon l'industrie :

- Le groupe I pour les industries minières ,
- Le groupe II pour toutes les autres industries.

Le présent document ne traite que les dispositifs concernant le groupe II.

Dans le groupe II, les appareils sont classés en trois catégories selon leur niveau de protection :

- 1) La catégorie 1 comprend les appareils qui sont conçus pour assurer, dans les conditions de fonctionnement prévues par le fabricant, un très haut niveau de protection,
- 2) La catégorie 2 comprend les appareils conçus pour assurer, dans les conditions de fonctionnement prévues par le fabricant, un haut niveau de protection,
- 3) La catégorie 3 comprend les appareils conçus pour assurer, dans les conditions de fonctionnement prévues par le fabricant, un niveau normal de protection.

Le tableau suivant résume les exigences au niveau de la protection de chaque catégorie (pour les atmosphères explosibles de poussières) :

Niveau de protection	Catégorie	Exigence au niveau de la protection	Conditions opératoires
Très haut	1	L'appareil ne doit pas être une source d'inflammation, même en cas de dérangement rare : le niveau de protection requis doit être assuré <ul style="list-style-type: none"> - soit dans le cas de l'apparition de deux défauts indépendants l'un de l'autre, - soit par deux moyens de protection indépendants. 	Equipement reste en fonctionnement et alimenté en énergie ; utilisable en zones 20, 21 et 22. (pour les définitions des zones voir chapitre 3.2.2.2)
Haut	2	L'appareil ne doit pas être une source d'inflammation, même en cas de dérangements fréquents ou de défauts de fonctionnement courants.	Equipement reste en fonctionnement et alimenté en énergie ; utilisable en zones 21 et 22.
Normal	3	L'appareil ne doit pas être une source d'inflammation en fonctionnement normal.	Equipement reste en fonctionnement et alimenté en énergie ; utilisable en zone 22.

3.2.2.2 La directive 1999/92/CE

Cette directive fixe les obligations de l'employeur par rapport à la prévention des explosions et à la protection contre celles-ci. L'employeur a, entre autres, l'obligation de prendre les mesures techniques et/ou organisationnelles appropriées au type d'exploitation, pour empêcher la formation d'atmosphères explosives ou, si la nature de l'activité ne le permet pas, d'éviter l'inflammation d'atmosphères explosives et atténuer les effets nuisibles d'une explosion dans l'intérêt de la santé et de la sécurité des travailleurs.

Il doit évaluer les risques d'explosion en tenant compte de la probabilité d'occurrence d'atmosphères explosives et de la probabilité d'apparition de sources d'inflammation provenant des installations, des substances utilisées, des procédés et de leurs interactions éventuelles. Les risques d'explosion doivent être appréciés globalement.

L'employeur est tenu également de subdiviser en zones les emplacements où des atmosphères explosives peuvent se présenter conformément aux définitions suivantes :

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, si elle se présente néanmoins, elle n'est que de courte durée. »,

Zone non dangereuse

« Un emplacement où il est improbable que des atmosphères explosives se présentent en quantités telles que des précautions spéciales sont nécessaires est considéré comme non dangereux ».

Notes:

1. Les couches, dépôts et tas de poussières combustibles doivent être traités comme une source susceptible de former une atmosphère explosive.
2. Par «fonctionnement normal », on entend la situation où les installations sont utilisées conformément à leurs paramètres de conception (*conditions normales d'utilisation*).

Par ailleurs, la directive 1999/92/CE précise la correspondance entre les zones 20, 21 et 22 (probabilité d'une atmosphère explosive) et les catégories du matériel à utiliser dans les zones (probabilité d'une source d'inflammation) :

« Sauf dispositions contraires prévues par le document relatif à la protection contre les explosions, fondé sur l'évaluation des risques, il convient d'utiliser dans tous les emplacements où des atmosphères peuvent se présenter des appareils et des systèmes de protection conformes aux catégories prévues par la directive 94/9/CE. »

Les catégories suivantes d'appareils seront notamment utilisées dans les zones indiquées, à condition qu'elles soient adaptées aux gaz, vapeurs ou brouillard et/ou poussières, selon les cas :

- Zone 20 > Catégorie 1 D (D pour dust (poussières en anglais))

- Zone 21 > Catégorie 2 D (ou Catégorie 1 D, si nécessaire)
- Zone 22 > Catégorie 3 D (ou Catégories 1 D ou 2 D, si nécessaire)

- Zone 0 > Catégorie 1 G (G pour gaz)
- Zone 1 > Catégorie 2 G (ou Catégorie 1 G, si nécessaire)
- Zone 2 > Catégorie 3 G (ou Catégories 1 G ou 2 G, si nécessaire)

La directive 1999/92/CE vient d'être publiée et elle est en cours de transposition en droit français, par le ministère chargé du travail.

4. ATMOSPHERES EXPLOSIVES

4.1 CARACTERISATION DES POUSSIERES INFLAMMABLES

Pour caractériser l'explosivité des produits pulvérulents, il est souvent utile de disposer de la valeur des caractéristiques d'inflammabilité ou d'explosivité suivantes :

- de la violence de l'explosion (la vitesse maximale de montée en pression est nécessaire pour dimensionner certains systèmes de protection tels que les événements),
- de la pression maximum d'explosion,
- de l'énergie minimale d'inflammation,
- de la température d'auto-inflammation d'un nuage de poussières,
- de la température d'auto-inflammation de la poussière en couche,
- de la concentration limite en oxygène en dessous de laquelle une inflammation n'est plus possible,
- de la concentration de poussières minimale explosible,
- de la concentration de poussières maximale explosible.

A part la détermination de la concentration maximale de poussières explosible, les caractéristiques listées ci-dessus peuvent être déterminées par des essais de routine effectués dans des conditions normalisées (ou suivant un protocole expérimental bien déterminé).

Ce point est très important car les caractéristiques d'explosivité des poussières sont fonction :

- de la concentration de l'atmosphère poussiéreuse,
- de la granulométrie de la poussière,
- du taux d'humidité de la poussière,
- du taux d'oxygène dans l'atmosphère,
- de la température de l'atmosphère

- de la pression de l'atmosphère,
- de la turbulence de l'atmosphère,
- du confinement de l'atmosphère,
- de l'énergie de la source d'inflammation,
- du volume de l'atmosphère explosive,

Il est donc évident que la transposition des valeurs des caractéristiques d'explosivité obtenues expérimentalement dans des conditions très précises aux conditions qui règnent dans l'installation doit être faite avec un minimum de précaution.

Quelques-unes ou la totalité de ces caractéristiques d'explosivité sont indispensables pour l'analyse des risques. En revanche, elles peuvent être utiles mais ne sont pas toutes indispensables pour le classement en zones ; Les données les plus utiles pour le classement en zones sont :

- l'analyse granulométrique,
- le taux d'humidité de la poussière,
- la concentration de poussières minimale explosive,
- la concentration limite en oxygène en dessous de laquelle une inflammation n'est plus possible.

Quant aux valeurs de l'énergie minimale d'inflammation et des températures d'auto-inflammation, elles sont nécessaires pour établir le cahier des charges des matériels à installer.

4.2 FORMATION DES ATMOSPHERES EXPLOSIVES

Pour former une atmosphère explosive de poussières, il faut réunir quatre conditions :

1. La poussière doit être inflammable :

Les poussières incombustibles, comme le sable, ne peuvent pas former d'atmosphère explosive.

En règle générale, la granulométrie d'une poussière explosive est inférieure à 0,3 mm. Lorsque la granulométrie moyenne est trop importante, l'inertie thermique du système empêche la propagation d'une inflammation éventuelle et l'explosion n'est pas possible. Néanmoins, certains produits de granulométrie supérieure à 1 mm mais de forme irrégulière, comme les floccules de maïs ou les fibres, peuvent former une atmosphère explosive. D'une manière générale, il ne faut pas assimiler la granulométrie du produit avec la granulométrie des poussières présentes dans le produit.

La circulaire du 14 août 1998 relative aux silos à céréales précise que « toute poussière présentant une fraction de particules inférieures ou égales à 500 µm est considérée comme poussière inflammable au sens du présent arrêté. ».

2. L'atmosphère doit contenir un comburant

Généralement, le comburant est l'oxygène de l'air. Mais un appauvrissement suffisant de l'air en oxygène empêche l'inflammation des poussières, bien que certaines d'entre elles (magnésium, zirconium, titane, uranium) puissent s'enflammer dans des atmosphères où la proportion d'oxygène est très faible. La concentration limite d'oxygène peut être déterminée expérimentalement.

3. La poussière doit être en suspension

Une explosion de poussières résulte d'une combustion très rapide des poussières dans l'oxygène de l'air. Dans un dépôt de poussières, il n'y a pas suffisamment d'oxygène entre les interstices pour permettre une combustion rapide. Chaque grain de poussière doit être entouré d'air.

En revanche, un dépôt de poussière peut être mis en suspension relativement facilement (par exemple par une action mécanique).

4. La concentration de poussières doit être dans le domaine explosible

Comme pour les gaz, il y a une limite inférieure d'explosivité et une limite supérieure d'explosivité. En règle générale, la limite inférieure d'explosivité se situe autour de 50 g/m^3 et peut être déterminée expérimentalement pour une poussière donnée. Néanmoins cette valeur doit être utilisée avec précaution car cette limite n'est pas une valeur intrinsèque de la poussière mais dépend des conditions de l'inflammation (turbulence, énergie de la source d'inflammation, température pression ...).

On note que, dans la définition d'une atmosphère explosive, la notion de « confinement » n'est pas prise en compte. Pour avoir un effet de pression lors d'une inflammation d'un nuage de poussières, il faut un confinement, total ou partiel. Sans confinement, il se produira uniquement une boule de feu d'un volume d'environ huit fois le volume initial de l'atmosphère explosive, mais pas d'effet de pression significatif.

4.3 PARTICULARITES DES POUSSIÈRES PAR RAPPORT AUX GAZ ET VAPEURS

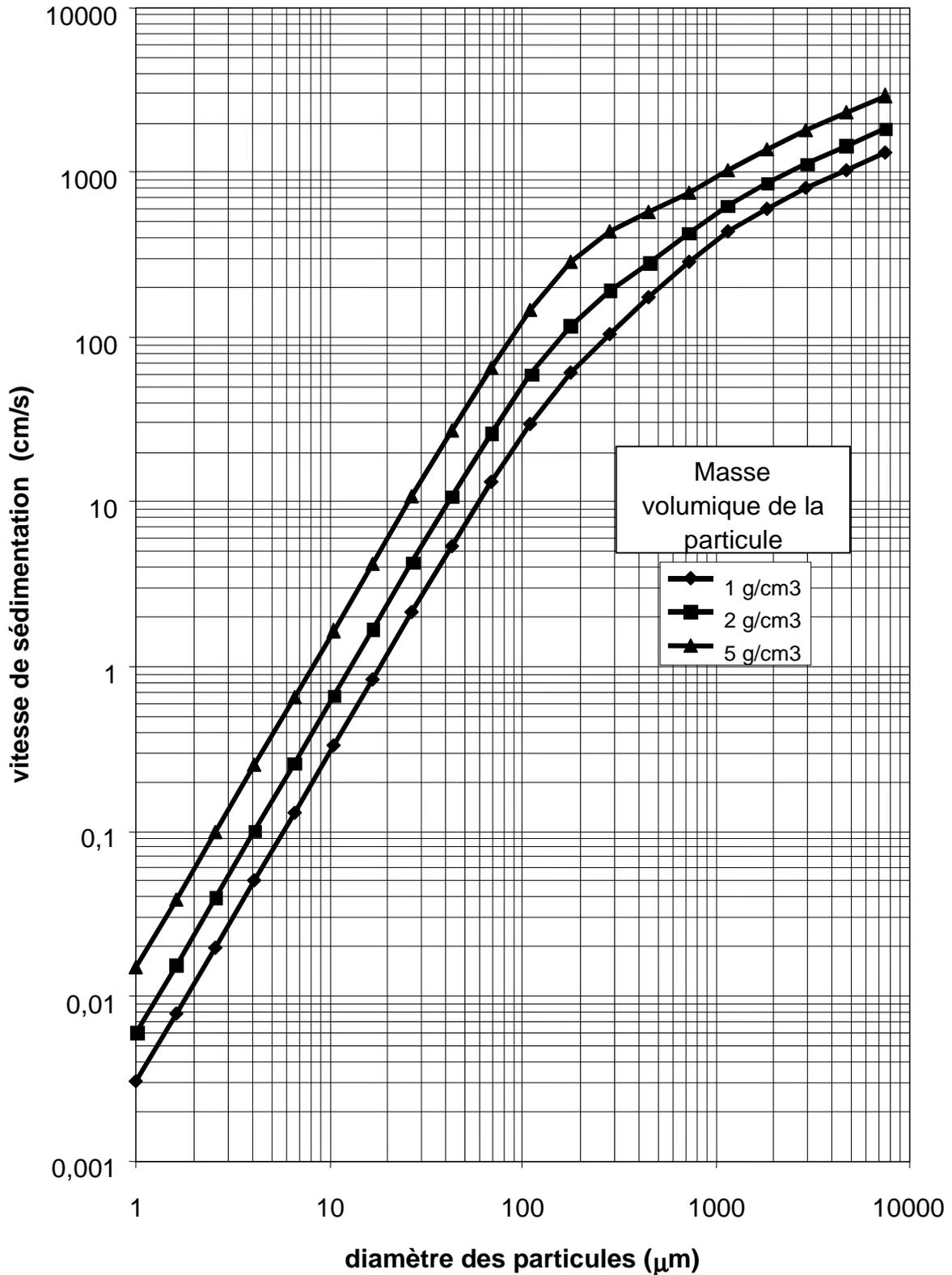
En ce qui concerne le processus de formation d'une atmosphère explosive, la différence fondamentale entre les atmosphères contenant des gaz ou des vapeurs inflammables et celles contenant des poussières réside dans la différence de leur masse volumique. La masse volumique des gaz et des vapeurs est d'environ mille fois moindre que celle des poussières.

Les gaz se dispersent dans l'air par convection et par diffusion et forment une atmosphère homogène (si la différence des densités du gaz inflammable et de l'air n'est pas trop importante). L'atmosphère est stable dans le temps. *Dans la plupart des cas, une atmosphère explosive se forme à l'extérieur des récipients, par diffusion des gaz ou vapeurs contenus dans le récipient.* Un des moyens d'éliminer une atmosphère explosive de gaz est la dilution par l'air du gaz inflammable, par ventilation (dans un atelier, par exemple), afin que sa teneur se trouve en permanence inférieure à 25 % de la LIE.

En revanche, les poussières sont beaucoup plus lourdes que l'air et ont tendance à se déposer plus ou moins rapidement en fonction de leur densité et de leur granulométrie. La figure 1 montre les vitesses de sédimentation des poussières en fonction du diamètre des poussières dans de l'air calme.

Figure 1

Vitesse de sédimentation en fonction du diamètre des particules



Pour une poussière typique de densité 2, on constate que la vitesse de sédimentation est supérieure à 1m/s dès lors que le diamètre de la poussière dépasse 150 μm . La vitesse de sédimentation des particules de 10 μm est 100 fois moins élevée. Ces poussières fines, qui sont plus dangereuses au point de vue de l'explosion, restent en suspension plus longtemps que les grosses. Il y donc une séparation naturelle des poussières par granulométrie qui se fait par sédimentation avec la possibilité de constituer des dépôts de poussières fines. La même ségrégation se fait par gradient de forces inertielles dans des courants d'air tels que ceux créés dans les cyclones.

On note également qu'un courant d'air ascendant de 10 cm/s est capable de maintenir en suspension indéfiniment des poussières de 40 μm de diamètre et de densité 2. La turbulence et les courants d'air facilitent souvent la formation ou la persistance d'une atmosphère explosive, surtout dans un volume confiné, ou par rapport au soulèvement des poussières en dépôt. Le confinement a tendance à concentrer la suspension de poussière et de maintenir une atmosphère explosive.

Les courants d'air peuvent disperser et diluer un nuage de poussières surtout en milieu non-confiné, mais aussi transporter les poussières plus loin pour constituer des dépôts de poussières formant des sources potentielles d'atmosphère explosive.

Bien qu'une atmosphère ne soit pas explosive si elle est constituée d'une suspension de poussières dont la concentration est trop élevée, elle peut le devenir si une partie de la poussière se dépose. C'est la raison pour laquelle la concentration de poussières maximale explosible est difficile à déterminer expérimentalement ; de plus, sa connaissance est peu utile à la prévention des atmosphères explosives.

On trouve des poussières inflammables généralement dans les installations où sont mises en œuvre :

1. des produits pulvérulents combustibles (en règle générale $\phi < 300 \mu\text{m}$), qu'il s'agisse des matières premières, des produits de fabrication ou des poussières produites lors des opérations de broyage ou de tamisage,
2. des produits granuleux combustibles friables : les poussières sont produites par abrasion au cours du procédé, puis sont mises en suspension dans l'atmosphère, par exemple lors de la manutention et s'accumulent sous forme de dépôts,
3. des produits granuleux accompagnés de poussières combustibles : par suite d'une ségrégation, des poussières sont mises en suspension dans l'atmosphère et peuvent s'accumuler en dépôts.

On note que les produits granuleux combustibles ne sont pas eux-mêmes susceptibles de former une atmosphère explosive à cause de leur granulométrie trop élevée. Un processus préalable de ségrégation et d'accumulation des fines est nécessaire pour obtenir une atmosphère explosive. Ceci peut se faire directement, par exemple par sédimentation, ou indirectement, par exemple par formation de dépôts de poussières qui sont mises en suspension par la suite.

5. METHODE DE CLASSEMENT

Le classement d'une installation en zones doit être réalisé sous la responsabilité de l'employeur. En général, c'est un travail d'équipe, avec la participation des ingénieurs de procédé, de maintenance et de sécurité. Il est souhaitable que ces personnes connaissent les risques d'explosion et les principes de classements en zones.

Chaque installation doit être traitée individuellement. Les conditions opératoires peuvent être différentes d'une installation à une autre et le même appareil dans un autre environnement pourra être classé différemment.

Sur les sites où il y a un risque d'explosion de gaz ou de vapeurs et un risque d'explosion de poussières, on doit procéder à deux études de classement : une pour les zones à risque gaz et vapeurs et une pour les zones à risque poussières. Ceci est valable également pour les installations manipulant des mélanges hybrides (gaz ou vapeur + poussières) car les zones d'atmosphères explosibles ne sont pas forcément les mêmes.

Le classement en zone d'une installation comprend les étapes suivantes :

- rassembler les caractéristiques des produits,
- comprendre le fonctionnement de l'installation,
- identifier les sources de dégagement de poussières,
- déterminer la probabilité d'apparition d'une atmosphère explosive,
- identifier l'étendue de ces atmosphères,
- classer les différents emplacements en zones 20, 21, 22 ou non-dangereuse,
- documenter les résultats du classement.

5.1 RASSEMBLER LES CARACTERISTIQUES DES PRODUITS

Pour le classement en zones, l'information principale à connaître pour chaque poussière est de savoir si la poussière est capable de former une atmosphère explosive dans les conditions qui règnent dans l'installation.

La liste des essais les plus utiles pour répondre à cette question, en fonction du cas traité, est la suivante :

- l'analyse granulométrique,
- le taux d'humidité ,
- la concentration de poussières minimale explosible,
- la concentration limite en oxygène en dessous de laquelle une inflammation n'est plus possible.

Dans les installations où il existe des poussières explosives, il y a pratiquement toujours une transformation des produits, soit par ségrégation des particules de poussières soit par le procédé lui-même. Même s'il n'y a qu'un seul « produit » dans l'installation, il peut y avoir plusieurs produits du point de vue de l'explosivité.

5.2 ANALYSE FONCTIONNELLE DE L'INSTALLATION

Une bonne compréhension de l'installation et de son fonctionnement est indispensable pour un classement en zones correct. Pour cela, il faut disposer :

- d'un plan d'implantation des équipements,
- d'un descriptif des fonctions des équipements,
- d'un descriptif des conditions et des modes de fonctionnement,
- des détails de construction des équipements,
- du plan de maintenance et de nettoyage.

Les pratiques et les fréquences de maintenance et de nettoyage ont une influence directe sur le classement en zones.

Il faut pouvoir identifier les points de fuites éventuelles (point où l'atmosphère mise en œuvre dans l'installation est émise en dehors de l'installation), ainsi que les mouvements d'air potentiels et les effets mécaniques pouvant provoquer la mise en suspension des poussières.

Si nécessaire, on doit avoir accès aux conditions de fonctionnement comme les températures, les pressions, les débits, les concentrations en oxygène, etc.

Il est à noter que l'analyse fonctionnelle sert également pour l'évaluation des risques.

5.3 IDENTIFIER LES SOURCES DE DEGAGEMENT DE POUSSIERES

Les sources de dégagement de poussières sont des points ou des emplacements à partir desquels une poussière combustible est émise dans l'atmosphère avec la possibilité de former une atmosphère explosive.

A partir de l'analyse fonctionnelle de l'installation, il faut identifier les sources de dégagement de poussières :

- A l'intérieur d'un système de confinement, la poussière n'est pas diluée mais peut former des nuages de poussières. Les installations dans lesquelles des quantités importantes de produits pulvérulents sont stockées et/ou traitées (par exemple silos, broyeurs, mélangeurs...) sont différentes de celles dans lesquelles aucun dépôt de poussières n'existe. Il faut donc prendre en compte :
 - le processus d'entrée des poussières dans l'installation,
 - le processus de sortie des poussières de l'installation,
 - le niveau de turbulence à l'intérieur de l'installation,
 - l'importance des dépôts de poussières à l'intérieur de l'installation,
 - le niveau de confinement de l'installation.
- à l'extérieur des appareils, de nombreux facteurs peuvent influencer le classement en zones :
 - les pressions supérieures à la pression atmosphérique sont responsables d'une émission des poussières vers l'extérieur par les points de fuites (transport pneumatique, par exemple). En cas de fuite significative, une pression positive pourrait souffler des quantités significatives de poussières vers l'extérieur de l'installation,

- un équipement fonctionnant en dépression émettra moins de poussières vers l'extérieur;
- les points faibles (gaines souples, joints non-étanches, ...) ainsi que les orifices communiquant avec l'extérieur (alimentation, extraction, exhaure, trappes de visite, ...) offrent des points de fuites vers l'extérieur;
- l'épaisseur des dépôts de poussières et leur emplacement;
- la fréquence de nettoyage.

Il faut déterminer la probabilité d'occurrence d'un dégagement de poussière, pour chaque source ; ce dégagement peut être :

- continu ou se produire au cours de longues périodes ou fréquemment,
- occasionnel, au cours du fonctionnement normal de l'installation
- rare et se produire uniquement en cas d'anomalie de fonctionnement.

5.4 DETERMINER LA PROBABILITE D'APPARITION D'UNE ATMOSPHERE EXPLOSIVE

Pour chaque source de dégagement de poussières, il faut déterminer si elle peut créer une atmosphère explosive et à quelle fréquence. Souvent, la fréquence d'apparition d'une atmosphère explosive est directement liée à la fréquence d'apparition de la source de dégagement.

En ce qui concerne l'existence d'atmosphère explosive à l'intérieur ou à l'extérieur des appareils spécifiques, on peut s'appuyer sur

- des statistiques d'accidents
 - Cet outil donne un bon aperçu des emplacements où des atmosphères explosives apparaissent. Néanmoins, le détail de certaines conditions de fonctionnement d'une installation qui existaient au moment de son explosion n'est pas toujours connu avec précision.
- des mesures in situ
 - Des mesures de concentration de la poussière peuvent être réalisées in situ ; en absence de méthodes normalisées, les résultats de ces mesures doivent être interprétés avec prudence, en particulier à cause du caractère ponctuel de la mesure et de l'existence possible d'un gradient de concentration autour du point de mesure (la concentration est elle mesurée au bon endroit ?)
- des observations visuelles
 - Si un nuage de poussière a une opacité telle que la limite de visibilité à travers le nuage ne dépasse pas 1 mètre, on peut considérer qu'il constitue une atmosphère explosive.
- des calculs
 - Il faut prendre en compte tous les paramètres qui peuvent influencer sur l'exactitude des calculs ; caractéristiques physiques des poussières, prise en compte des dépôts, de la ségrégation par gravité ou forces inertielles, de la turbulence...
- de l'expérience.

La prise en compte de la valeur de la concentration des poussières, tirée de mesures in situ, et la comparaison de cette valeur à la concentration minimale explosible doit tenir compte d'un facteur de sécurité d'au moins 50 % pour conclure que l'atmosphère n'est pas explosive.

L'atmosphère doit être examinée pour toutes les phases de fonctionnement de l'installation :

- pendant les phases de démarrage ou d'arrêt,
- en régime normal de fonctionnement,
- lors d'une anomalie de fonctionnement courante,
- lors d'une anomalie de fonctionnement rare.

5.5 IDENTIFIER L'ETENDUE DES ZONES

Les zones sont des espaces tridimensionnels délimités et classés en fonction de la fréquence et de la durée d'apparition des atmosphères explosives.

L'étendue de la zone est la distance, dans toute direction, entre la source de dégagement de poussières et le point où le risque associé à cette zone est considéré comme nul.

En ce qui concerne l'intérieur des confinements, l'étendue de la zone est habituellement définie par le confinement lui-même.

Pour les sources de dégagement à l'extérieur des confinements, qui sont dues à des fuites et qui créent une atmosphère explosive directement, on doit estimer l'étendue de la zone en prenant en compte :

- le débit massique et la concentration des poussières,
- la trajectoire des poussières (pour les sources situées en hauteur, on considérera qu'une atmosphère explosive peut se former dans le volume défini par une projection verticale sur le sol de la zone maximale d'extension du nuage de poussières au niveau de la fuite),
- la vitesse de l'air autour de l'installation.

Pour les sources de dégagement à l'extérieur des confinements, qui sont dues aux soulèvements des dépôts, il faut prendre en compte

- tous les mécanismes de soulèvement (chute des poussières, jet d'air, courants d'air, ventilation, vent, action mécanique, ...),
- la granulométrie,
- la quantité de poussières susceptible d'être soulevée,
- la trajectoire des poussières (Il faut faire attention en particulier aux passages possibles entre chaque niveau d'un bâtiment, par exemple s'il existe des caillebotis).

5.6 AFFECTATION DES ZONES

Les emplacements de et autour de l'installation sont classés en zones 20, 21 et 22 ou en emplacements non dangereux, conformément aux définitions de la directive 1999/92/CE . Le classement en zone 20, 21, ou 22 sert à définir la catégorie (niveau de sécurité), du matériel à installer dans chaque zone. Si un exploitant le souhaite pour des raisons d'homogénéité de son parc, il lui est toujours possible d'installer dans une zone un matériel qui serait adapté pour une zone exigeant une catégorie plus élevée.

Si une atmosphère explosive apparaît lors du fonctionnement normal de l'installation, l'emplacement est classé obligatoirement en zone 20 ou 21. Par «fonctionnement normal », on entend la situation où les installations sont utilisées dans leurs conditions normales d'utilisation, y compris le fonctionnement pendant les phases de démarrage et d'arrêt. Un évènement peut être considéré comme une anomalie s'il provoque l'arrêt de l'installation (déclenchement volontaire ou involontaire pour remédier à l'anomalie). Les endroits classés en zone 21 sont ceux pour lesquels l'atmosphère explosive n'apparaît qu'occasionnellement. (A noter que des anomalies à répétition ou des défauts non réparés doivent être assimilés à un fonctionnement normal).

A l'exception de cas très particuliers, les emplacements de zone 20 à l'extérieur des confinements ne sont pas autorisés, le personnel d'exploitation ne devant pas travailler dans les emplacements classés en zone 20, au cours du fonctionnement normal de l'installation.

Typiquement, on classe les emplacements confinés contenant des poussières en zone 20 surtout s'il y a un mouvement vertical du produit (poussières + granulés le cas échéant), comme l'intérieur des trémies, des cellules, des silos, des cyclones, des filtres, des élévateurs, des mélangeurs, des broyeurs, des séchoirs, des tamis... Si l'atmosphère explosive n'apparaît qu'occasionnellement, on peut envisager un classement en zone 21.

Pour les appareils où il y a un mouvement horizontal des produits, comme sur les convoyeurs à bandes ou dans les transporteurs à chaîne, l'atmosphère présente autour de ces installations est généralement classée en zone 21 s'il n'y a pas de mécanismes de mise en suspension présent (vitesse trop rapide, ...).

Les emplacements non-confinés à proximité des points de remplissage, des points de rejet des bandes transporteuses, au-dessus des fosses de réception, des trappes ouvertes, (où il y a possibilité de mouvement vertical du produit), sont habituellement classés en zone 21. Si un système de dépoussiérage est employé, l'étendue de la zone pourra en général être réduite.

Généralement, un emplacement non-confiné classé en zone 21 est entouré d'une zone 22.

En règle générale, la zone 22 est réservée aux emplacements normalement exempts de poussières sauf en cas d'anomalie, comme le volume du côté air propre dans un filtre à manche, ou à proximité d'une manche souple, ou autour des dépôts pour lesquels il n'y a pas de mécanisme susceptible de mettre en suspension les poussières.

Les emplacements non-dangereux sont ceux exempts de poussières, ainsi que ceux où la poussière ne peut être présente : il s'agit par exemple des locaux où passent des canalisations étanches (et sans raccords qui pourraient fuir), les locaux techniques. Il doit y avoir un engagement de nettoyage systématique et programmé ; le niveau d'empoussièremment doit être maintenu nettement en dessous de 10 g/m^2 (en dépôt), même localement.

5.6.1 Dépôts de poussières

En absence de tout autre source de dégagement de poussières, l'existence d'un dépôt de poussières à l'intérieur d'un volume confiné peut conduire à un classement en zone 21 ou même en zone 20 si la mise en suspension du dépôt se produit fréquemment au cours du fonctionnement normal de l'installation.

Un dépôt de poussière à l'intérieur d'un bâtiment, dans un endroit non-confiné, peut conduire à un classement en zone 21 s'il existe un mécanisme au cours duquel ce dépôt peut être mis en suspension. C'est le cas des dépôts situés en hauteur et qui peuvent former une atmosphère explosive suite à leur chute.

Habituellement, on classe l'emplacement autour d'un petit dépôt de poussière au sol en zone 22 sauf si cette poussière est très fine et s'il existe des mécanismes de mise en suspension particuliers.

5.7 DOCUMENTER LES RESULTATS DU CLASSEMENT

Le classement en zone doit être dûment documenté.

Les justifications ayant servi pour le classement des zones doivent être argumentées pour faciliter la compréhension lors des revues de classement, surtout en ce qui concerne les paramètres et circonstances qui influent sur les sources de dégagement de poussières et des mécanismes de mise en suspension (granulométrie de la poussière, pourcentage des poussières accompagnant les produits granulaires, systèmes de dépoussiérage, plan de nettoyage...).

Les zones ainsi déterminées doivent être matérialisées sur les plans de l'installation avec éventuellement les sources de dégagement de poussières et le niveau maximum de dépôts tolérés.

Il faut effectuer périodiquement des revues de classement des zones et aussi à l'occasion d'un changement du procédé, des modes opératoires, des procédures ou des caractéristiques du produit mis en œuvre. Ce changement peut avoir un impact sur la probabilité d'apparition d'une atmosphère explosive.

On doit noter également si un emplacement a été surclassé par convenance par exemple, pour avoir le même classement dans tout le volume d'un bâtiment.

6. EXEMPLES PRATIQUES

Les deux exemples suivants sont donnés à titre d'illustration et ne sauraient être transposés à des cas réels, sans avoir suivi la procédure de classement indiquée au chapitre précédent.

6.1 EXEMPLE N°1 : POSTE DE VIDAGE DE SACS A L'INTERIEUR D'UN BATIMENT

(voir plan n° 1)

6.1.1 Caractéristiques du produit mis en œuvre

Un produit pulvérulent organique (et donc combustible) très fin, (de granulométrie <math>< 60 \mu\text{m}</math>) et sec est mis en œuvre au niveau d'un poste de vidage de sacs dans une trémie. Elle constitue une poussière qui, du fait de sa faible densité, peut être facilement mise en suspension.

A partir de ces caractéristiques, il apparaît que cette poussière peut donner lieu à la formation d'une atmosphère explosive.

6.1.2 Analyse fonctionnelle

Des sacs contenant le produit pulvérulent sont vidés manuellement plusieurs fois par jour dans la trémie tampon. Les poussières sont reprises en bas de la trémie à travers une vanne rotative puis envoyées par transport pneumatique sous air à une autre partie de l'installation. Il n'y a pas de système de dépoussiérage sur le poste de vidange et le nettoyage des dépôts se fait mensuellement.

6.1.3 Sources de dégagement de poussières

Les sources de dégagement de poussières sont les suivantes:

- à l'intérieur de la trémie : dégagement continu lors de la vidange des sacs, dégagement continu par la mise en suspension des dépôts à chaque remplissage ;
- autour de la trappe de remplissage : dégagement occasionnel lorsque les sacs sont mal vidés ; envol des poussières fines ;
- à proximité de la trémie : dégagement rare à partir de la mise en suspension des dépôts présents sur le sol et sur la trémie, dépôts maximum de 50 g/m².

6.1.4 Probabilité d'apparition d'une atmosphère explosive

A chaque opération de vidage d'un sac, la concentration du nuage de poussières atteinte dans la trémie dépasse certainement la concentration minimale explosible de la poussière (valeur précise inconnue), à cause de la finesse de la poussière et de la turbulence créée par la chute de la poussière.

Autour de la trappe de remplissage, une atmosphère explosive ne se forme pas forcément à chaque opération de vidage d'un sac, mais on peut conclure, vu la finesse de la poussière, qu'elle se forme au moins de temps en temps.

En ce qui concerne les dépôts présents à proximité de la trémie, leur épaisseur reste relativement limitée et il n'y a pas de raison identifiée qu'ils soient mis en suspension (notons que la chute d'un petit objet, de même que l'évolution du personnel sur la zone empoussiérée ne sont pas suffisants pour mettre en suspension une quantité significative de cette poussière).

6.1.5 Classement et dimensions des zones

L'atmosphère explosive qui se forme dans la trémie est délimitée par ses parois : l'intérieur de la trémie constitue donc une zone 20.

On admet que l'atmosphère explosive qui peut se former autour de la trappe, lors du remplissage de la trémie, serait contenue dans un volume défini par un hémisphère dont le diamètre est égal à la plus grande dimension de la trappe plus 2m et dont le centre est identique au centre de la trappe et par un cylindre de même diamètre que l'hémisphère et compris entre le sol et le plan de la trappe ; l'intérieur de ce volume constitue une zone 21.

On admet que l'atmosphère explosive qui pourrait se former à partir des dépôts de poussières présents sur le sol du local ou sur les autres surfaces planes serait contenue dans un volume compris entre le sol et une hauteur de 2 mètres (on suppose qu'il n'y a pas de dépôts de poussières en hauteur dans ce local). Ce volume constitue une zone 22. On lui adjoint un volume hémisphérique de même centre que celui délimitant la zone 21 et qui l'englobe sur une épaisseur de 1m.

La figure 2. illustre les différentes zones définies.

Exemple n° 1 Vidange de sacs dans une trémie

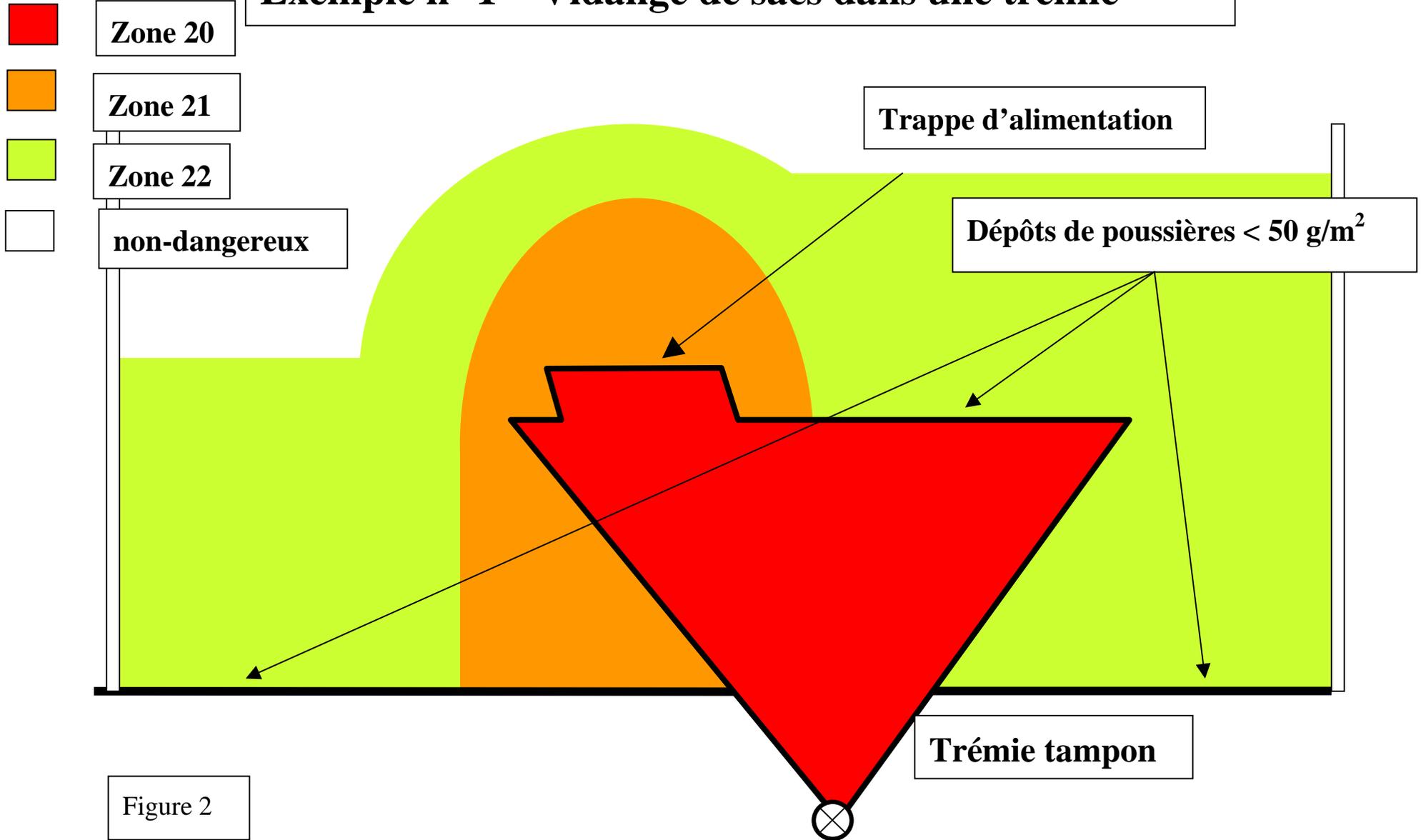


Figure 2

Plus globalement, l'évaluation des risques précisera les moyens de prévention, de détection, de protection et d'intervention à mettre en place. Cette évaluation devra également prendre en compte les conditions d'installation et d'entretien de ces matériels.

6.2 EXEMPLE N°2 : CYCLONE SUIVI D'UN FILTRE A MANCHE

(voir plan n° 2)

6.2.1 Caractéristique du produit mis en œuvre

De la poussière de blé est aspirée au niveau de bouches qui sont installées en tête et en pied d'un élévateur, et véhiculée vers une installation constituée d'un cyclone et d'un filtre. Cette poussière est fine et combustible.

6.2.2 Analyse fonctionnelle

Le cyclone et le filtre font partie d'un système de dépoussiérage centralisé de l'installation. Les poussières extraites traversent une vanne rotative pour tomber dans une trémie à l'étage en dessous. Le ventilateur d'aspiration se trouve à l'extérieur du bâtiment.

Le cyclone, le filtre et les canalisations sont complètement étanches, sans raccord souple ou trappe de visite et donc sans possibilité de fuite. Le niveau 1 est complètement isolé par rapport aux niveaux 0 et 2. La maintenance des équipements se fait par le niveau 2 (remplacement des manches filtrantes essentiellement). Un système qui détecte la dégradation des manches (perçage) est en place et il n'y a pas de dépôts du côté air propre, sauf occasionnellement en cas de perçage des manches. Les locaux sont nettoyés tous les jours avec le système d'aspiration centralisé, il n'y a pas de dépôts décelables.

6.2.3 Sources de dégagement de poussières :

Les sources de dégagement de poussières sont les suivantes :

- à l'intérieur des canalisations : présence continue de poussières aspirées, à une concentration limitée et présence occasionnelle, à une concentration plus importante, lors du décollement de dépôts présents sur les parois,
- à l'intérieur du cyclone : présence continue de poussières aspirées, à une concentration limitée et présence occasionnelle, à une concentration plus importante, lors du décollement de dépôts présents sur les parois,
- à l'intérieur du filtre à manche côté air empoussiéré : présence continue de poussières aspirées (moins concentrées qu'en amont du cyclone) et présence fréquente de surconcentrations lors du décolmatage des manches filtrantes,
- à l'intérieur du filtre à manche côté air propre, de la canalisation aval et du ventilateur d'exhaure : présence rare de poussières en cas de perçage d'une ou de plusieurs des manches,
- à l'extérieur des équipements : absence de dégagement de poussières.

6.2.4 Probabilité d'apparition d'une atmosphère explosive

En fonction des emplacements, la probabilité d'apparition d'une atmosphère explosive est la suivante :

- à l'intérieur des canalisations : la concentration des poussières varie en fonction de l'empoussièrement, de l'humidité du blé et de l'efficacité du système d'aspiration. Pour cet exemple, on suppose que la concentration de poussières n'est qu'exceptionnellement au-dessus de 10 g/m^3 . La probabilité d'une atmosphère explosive n'est donc qu'occasionnelle,
- à l'intérieur du cyclone : un cyclone sert à concentrer les poussières ; avec un dégagement de poussières en continu à n'importe quelle concentration, il faut admettre que l'atmosphère sera explosive en continu,
- à l'intérieur du filtre à manche coté air empoussiéré : la chute fréquente des accumulations de poussières par décolmatage rend l'atmosphère explosive en continu,
- à l'intérieur du filtre à manche coté air propre, de la canalisation et du ventilateur d'exhaure: suite au perçage d'une manche (événement rare), il peut y avoir suffisamment de poussières qui passent à travers la manche pour y former une atmosphère explosive,
- à l'extérieur des équipements : la formation d'une atmosphère explosive y est improbable.

6.2.5 Classement et dimensions des zones

L'atmosphère explosive qui est présente dans le cyclone et dans le filtre côté air empoussiéré est délimitée par les parois de ces matériels dont le volume interne constitue une zone 20.

L'atmosphère explosive qui se forme occasionnellement à l'intérieur des canalisations en amont en amont du cyclone et entre le cyclone et le filtre à manches est délimitée par les parois de ces canalisations dont le volume interne constitue une zone 21.

Enfin, l'atmosphère explosive qui peut se former en aval du filtre, par suite du perçage d'une manche est délimitée par les volumes internes du filtre (côté air propre), de la canalisation aval et du ventilateur d'exhaure ; ces volumes constituent donc une zone 22

La figure 3 illustre les différentes zones ainsi définies.

Plus globalement, l'évaluation des risques précisera quels sont les moyens de prévention, de détection, de protection et d'intervention à mettre en place. Cette analyse devra également prendre en compte les conditions d'installation et d'entretien de ces matériels.

Exemple n° 2 - Cyclone et Filtre à Manche

