

aux règles générales
 au matériel à immersion dans l'huile "o"
 aux enveloppes à surpression interne "p"
 au remplissage pulvérulent "q"
 aux enveloppes antidéflagrantes "d"
 à la sécurité augmentée "e"
 au matériel de sécurité intrinsèque "i".

L'harmonisation des règles de construction pouvait être soit une harmonisation totale soit une harmonisation optionnelle.

L'harmonisation totale suppose que le matériel électrique ne peut plus être construit que suivant les normes harmonisées, dans tous les pays de la communauté tandis que l'harmonisation optionnelle laisse subsister les normes nationales à côté des normes harmonisées.

Seul le matériel conforme aux normes harmonisées et possédant un certificat de conformité pourra circuler librement de même que le matériel assurant une sécurité équivalente sanctionnée par la délivrance d'un certificat de contrôle.

Le matériel conforme aux normes nationales ne peut circuler que dans le pays où il est admis ou éventuellement dans un autre pays moyennant un accord bilatéral.

Il est présumé que les normes nationales disparaîtront après un certain temps.

Le certificat de conformité sera délivré par une station d'essais agréée. Elle attestera ainsi que le type de matériel est conforme aux normes harmonisées.

Quant au certificat de contrôle il sera aussi délivré par une station d'essais agréée qui attestera que le matériel assure une sécurité au moins équivalente.

La procédure à suivre est celle qui est explicitée à la fig. 38.

Chaque matériel destiné à circuler librement sera identifié par une marque distinctive communautaire signifiant d'une part que ce matériel a reçu soit un certificat de conformité soit un certificat de contrôle et d'autre part qu'il est identique au type de matériel ayant reçu le certificat.

Cette marque sera représentée par un



La marque distinctive communautaire apposée par le fabricant sur le matériel électrique attestera que ce matériel est conforme au type de matériel auquel a été délivré un certificat de conformité ou de contrôle et qu'il a subi les vérifications et épreuves individuelles prévues par les normes harmonisées.

7.5.3. Le matériel antidéflagrant.

On accepte qu'une explosion soit possible à l'intérieur de l'appareil mais son enveloppe doit résister à cette explosion et ne communiquer avec l'atmosphère extérieure que par des passages appelés "interstices" tels que les gaz d'explosion qui peuvent s'en échapper ne puissent pas enflammer le mélange gazeux à l'extérieur.

Les travaux de BEYLING en Allemagne,
WHEELER au Grande Bretagne
et DELMAS en France
aboutirent aux règles permettant de construire des appareils
antigrisouteux.

Les matériels antidéflagrants pour d'autres gaz que le grisou ne sont venus qu'ensuite.

La protection du matériel par enveloppe antidéflagrante repose essentiellement sur le phénomène de coincement des flammes.

Il consiste à enfermer l'appareillage dans une enveloppe construite de façon à résister à la pression qu'y produirait une explosion intérieure du mélange gazeux et dont toutes les ouvertures, telles que les petits écartements dans les joints d'assemblage les passages pour arbres tournant ou tige de commande les fentes prévues pour la ventilation etc..., ont une dimension latérale (appelée interstice) ne dépassant pas une certaine valeur qui dépend de la largeur du joint.

Des expériences, en nombre énorme, ont permis de définir pour chaque gaz combustible étudié (fig. 39) à partir de l'interstice expérimental maximal de sécurité (IEMS) ce qu'on appelle l'interstice statistique maximal de sécurité (fig. 40).

Un coefficient de sécurité égal à 2 environ est appliqué à ces derniers pour obtenir l'interstice maximale d'assemblage (fig. 40).

Compte tenu des valeurs des interstices statistiques la norme européenne a réparti les gaz en 4 groupes qui sont par ordre d'interstice décroissant :

Groupe I qui ne comprend que le méthane
 Groupe II A. dont le représentant est le propane
 Groupe II B. dont le représentant est l'éthylène
 Groupe II C. Hydrogène, sulfure de carbone.

Le tableau 18 donne l'interstice expérimental maximal de sécurité (de 25 mm de long) pour des gaz des 4 groupes.

Outre la marque distinctive communautaire, la norme harmonisée impose un certain nombre de marquages et en particulier la température maximale atteinte par sa surface extérieure en cours de fonctionnement ; il ne doit être utilisé que dans une atmosphère contenant des gaz dont la température d'inflammation dépasse cette température marquée.

Enfin l'enveloppe de tout appareil doit avoir subi chez le constructeur une épreuve à une pression égale à 1,5 fois la pression maximale atteinte au cours des essais d'explosion effectués en vue de l'agrément.

La protection par enveloppe antidéflagrante est applicable à tous les matériels électriques.

Elle a l'inconvénient de conduire à un poids élevé à cause de l'épaisseur que l'on doit donner aux enveloppes.

7.5.4. Matériel à surpression interne.

Le principe de la protection par surpression interne est très simple, mais son application est régie par de nombreuses conditions.

La surpression à maintenir dans l'appareil doit être d'au moins 0,5 millibar, ce qui implique qu'on alimente de façon continue l'appareil en gaz de protection afin de compenser les fuites qui se produisent à divers joints.

L'appareil doit être doté de dispositif de surveillance (manostats) qui le mette hors tension si la pression du gaz protecteur devient insuffisante.

Avant chaque mise en service un balayage préalable doit être effectué.

La protection par surpression interne est particulièrement intéressante dans le cas des matériels installés dans des locaux où l'atmosphère peut être rendue explosive par l' H_2 ou quand on a à protéger dans un atelier, des appareils volumineux, ou très nombreux.

Elle vaut à l'égard de tous les gaz combustibles.

L'emploi de la surpression interne est applicable aux armoires d'instruments de mesure et de contrôle dans lesquelles des échauffements ou des étincelles peuvent se produire.

7.5.5. Le matériel électrique à sécurité intrinsèque.

L'emploi de ce matériel se développe de plus en plus.

Un appareil électrique ou un circuit électrique, est dit à sécurité intrinsèque lorsque toute étincelle électrique pouvant s'y produire normalement (c'est-à-dire par ouverture ou fermeture du circuit) ou accidentellement (par exemple par court circuit ou défaut à la terre) est incapable de provoquer, dans les conditions d'essais prescrites, l'inflammation du mélange explosif pour lequel il est prévu.

La sécurité intrinsèque d'un appareil ne saurait être considérée indépendamment des circuits auxquels il est associé ; d'autre part, plusieurs circuits qui, pris séparément, sont à sécurité intrinsèque peuvent, une fois qu'ils sont réunis, ne plus avoir ce caractère.

La sécurité intrinsèque est spécialement avantageuse dans les appareils de mesure, de télécommande, de circuits téléphoniques de circuits à cellules photoélectriques bref à tout ce qui ne met en oeuvre qu'une faible puissance.

7.5.6. Les autres modes de protection.

La protection par isolant pulvérulent est surtout applicable à des appareils statiques qui en service normal ne produisent ni arc ni étincelle.

Elle consiste à placer sous une certaine épaisseur de matière isolante pulvérulente, qui est en général un sable siliceux, les parties sous tension de l'appareil.

En cas d'arc accidentel, le poids de la couche inerte limite le développement de l'arc seule brûle la petite quantité du mélange gazeux explosif qui se trouve entre les grains de la matière pulvérulente voisine de l'arc sans qu'il y ait transmission de la flamme hors de la masse pulvérulente.

Ce mode de protection est surtout applicable à des transformateurs.

Le matériel immergé dans l'huile n'est pas en contact avec l'atmosphère explosive qui peut se trouver au dessus du niveau d'huile.

Le matériel de sécurité "e" est un matériel ne produisant pas d'étincelle en service normal et dont on réduit la probabilité d'étincelles accidentelles. On veille aussi à limiter les échauffements pour que les isolants conservent leurs qualités.

7.5.7. Questions diverses.

1°) Zones dangereuses.

Les matériels électriques de sécurité sont à employer dans les zones qualifiées dangereuses c'est-à-dire dans lesquelles l'atmosphère peut éventuellement être explosive.

Le règlement général pour la protection du Travail exige que dans les locaux contenant des matières facilement inflammables, le choix de l'appareillage électrique, ainsi que son mode d'installation soient déterminés par le degré de danger des lieux visés, classés à cet effet en quatre zones.

Zone 0.

Dans cette zone un mélange explosif air-gaz est présent en permanence ou est présent pendant de longues périodes.

Les appareils électriques y sont interdits à l'exception des appareils électriques à sécurité intrinsèque de première catégorie.

Zone 1.

Dans cette zone un mélange explosif air-gaz est susceptible de se former pendant le fonctionnement normal des installations.

Les modes de sécurité autorisés pour les appareils électriques sont les suivants :

- la sécurité intrinsèque
- les enveloppes antidéflagrantes
- les enveloppes à surpression interne
- l'isolant pulvérulent.

Zone 2.

Dans cette zone, l'existence d'un mélange explosif air-gaz est peu probable et, dans cette éventualité, ne subsisterait que pendant une courte durée.

Les modes de sécurité autorisés sont les suivants :

- les modes de sécurité définis pour la zone 1
- la sécurité augmentée
- l'immersion dans l'huile.

Zone 3.

Dans cette zone le risque d'apparition d'une atmosphère dangereuse est considéré comme négligeable.

Les appareils du type industriel normal peuvent être utilisés dans ces lieux.

2°) Température marquée.

Tout appareil électrique de sécurité doit porter sur la plaque signalétique l'indication d'une température dite "température marquée".

C'est la température la plus haute que peuvent atteindre en service normal (y compris, le cas échéant, les surcharges reconnues par l'agrément ou la certification) les surfaces de l'appareil en contact avec le mélange gazeux explosif ou simplement la surface extérieure de l'enveloppe dans le cas de matériel antidéflagrant.

Cette température marquée est déterminée en supposant égale à 40°C la température ambiante ;
les températures marquées sont les suivantes :

T ₁	450°C
T ₂	300°C
T ₃	200°C
T ₄	135°C
T ₅	100°C
T ₆	85°C.

Il appartient à l'utilisateur, qui sait dans quelle atmosphère il emploiera le matériel, de demander que celui-ci ait une température marquée moindre que la plus basse des températures d'inflammation des gaz ou vapeurs qu'il traite.

3°) Un matériel électrique de sécurité pour atmosphère explosive n'est sûr que s'il est bien entretenu et n'a pas subi de modification. Il ne faut pas oublier non plus que sa sécurité n'est garantie que vis-à-vis des gaz pour lesquels il a été soit agréé soit certifié.

8. Les explosions de nuages poussiéreux et de brouillards

8.1. Propriétés générales

8.1.1. Fréquence et nuisance des explosions de suspension dans l'air.

Une suspension dans l'air de particules solides (nuage de poussières) ou de gouttelettes liquides (brouillard) constitue, lorsque la matière en suspension est inflammable une association d'un comburant et d'un combustible.

Une telle association a des propriétés explosives si le mélange des constituants est suffisamment intime c'est-à-dire si la matière dispersée est en particules ou gouttelettes suffisamment petites et si le rapport de la masse combustible à l'air a une valeur convenable.

Ces suspensions ont souvent donné lieu à des accidents graves.

Ceux qui ont été causés par des nuages de particules de charbon sont connus dans les mines de houille, sous le nom de "coup de poussières".

Le plus meurtrier des coups de poussières est celui de Courrières en 1906, qui fit 1099 victimes.

Mais l'extraction de charbon n'est pas la seule industrie où des explosions de poussières ont causé des ravages.

Très diverses sont les activités industrielles ou agricoles produisant des poussières combustibles soit comme produit principal, qu'il est nécessaire, en vue de ses emplois, de mettre sous forme pulvérulente soit comme déchet.

Citons :

- les industries alimentaires : meunerie, sucrerie, amidonnerie, chocolaterie ;
- fabrication des matières colorantes artificielles
- fabrication des matières plastiques
- la pulvérisation des métaux.

Même si elles sont moins fréquentes que les explosions de gaz, les explosions de poussières dans l'industrie ont été très nombreuses et ont fait des milliers de victimes au cours des 50 dernières années.

On doit admettre qu'un corps solide combustible ou oxydable même si on ne peut pas le faire brûler dans l'air dans les conditions ordinaires quand il est sous sa forme compact, peut donner lieu à une explosion de poussière, quand il est sous forme d'une poudre suffisamment fine et que les conditions sont favorables.

Ces poudres très fines sont souvent appelées des "farines".

Les produits organiques ne sont pas les seuls dont le broyage répand des poussières inflammables ; beaucoup de poussières minérales, entre autre celles de soufre, de pyrite, d'aluminium ou de zinc... présentent aussi le même risque.

On doit admettre aussi qu'un liquide combustible, même à point d'éclair très supérieur à 100°C, peut engendrer, quand il est sous forme de vesicules en suspension dans l'air, un brouillard explosif.

8.1.2. Constitution des nuages et brouillards explosifs.

Un nuage ou un brouillard de particules combustibles en suspension dans l'air constitue un système que l'on peut rapprocher des mélanges de gaz combustibles avec l'air ; mais alors que dans ces derniers mélanges, il n'y a qu'une seule phase, les suspensions sont des systèmes à deux phases.

Dans un gaz explosif, le mélange est réalisé à l'échelle moléculaire tandis que dans un nuage ou dans un brouillard explosif, chaque particule de la phase dispersée contient plusieurs millions (ou milliards) de molécules, même quand on a des gouttelettes de diamètre 1

Dans un brouillard, les gouttelettes sont très exactement sphériques, à cause de l'existence de la tension superficielle, et parfois les gouttelettes ont des rayons peu différents.

Dans un nuage de particules solides, celles-ci n'ont que très rarement une forme sphérique ; elles sont irrégulières et sont parfois poreuses. Aussi, on ne peut obtenir qu'un ordre de grandeur grossier de la surface spécifique (rapport de la surface de la masse) en faisant un calcul fondé sur le diamètre moyen des particules ; la valeur peut être supérieure à 1m²/g.

Cette surface spécifique, qui est la surface par laquelle la phase solide est en contact avec la phase gazeuse joue certainement un rôle dans les explosions de nuages poussiéreux.

8.2. Explosions de poussières

8.2.1. Mécanisme de la combustion des nuages poussiéreux.

Il y a deux types essentiels de mécanismes de combustion :

- 1°) Les études sur les "coups de poussières" de charbon ont mis en évidence le rôle important que joue le taux de matières volatiles du charbon, c'est-à-dire la quantité de produits gazeux que le charbon dégage quand il est chauffé.

Dans la combustion d'un nuage de charbon, chaque particule, échauffée par le rayonnement de la chaleur provenant de celles qui sont déjà en combustion subit une pyrogénéation qui fait que, dans une petite sphère qui l'entoure, l'atmosphère est un mélange d'air et de gaz combustibles (H₂, CO, hydrocarbure) dans lequel se propagera la flamme avant d'atteindre le noyau solide laissé par

la pyrogénéation ; la combustion est alors la combustion de particules solides dans un mélange gazeux qui est souvent à une concentration supérieure à sa limite inférieure d'inflammabilité ; il peut d'ailleurs arriver qu'après la combustion de ce mélange gazeux, s'il est suffisamment riche, il ne reste plus d'oxygène disponible pour la combustion des résidus solides + cokéfiés laissés par la pyrogénéation qui a précédé, et la combustion du nuage de poussière laisse un important résidu imbrûlé.

Un tel mode de combustion peut évidemment avoir lieu avec des nuages de poussières autres que du poussier de houille.

En fait, à peu près toutes les poussières organiques solides sont susceptibles de subir une pyrogénéation avec dégagement de gaz inflammables ; l'explosion de nuages de ces poussières consiste donc, du point de vue physico-chimique, en réactions de combustion en 2 étapes.

- 2°) Le mécanisme ci-dessus ne peut avoir lieu avec des corps combustibles, comme certains métaux, dont le point d'ébullition est très élevé ou avec des corps qui ne sont susceptibles d'aucune réaction de pyrogénéation ; les particules peuvent bien fondre, mais elles n'émettent pas de vapeurs combustibles.

La combustion d'un nuage de poudre métallique de ce genre laisse un résidu formé d'oxydes solides mélangés à du métal si celui-ci était en excès.

D'ailleurs, les processus physico-chimiques intervenant dans la déflagration des nuages sont assez différents de ceux d'une déflagration en phase unique gazeuse ; une des différences essentielles tient à ce que les particules solides présentes dans un nuage de poussières ont pour la chaleur rayonnante un pouvoir absorbant incomparablement plus grand que celui d'un gaz ; ceci permet donc aux particules d'être portées à leur température d'inflammation même dans un milieu dont la combustion ne fournit par unité de volume, qu'une énergie faible, moindre que celle qui est nécessaire pour entretenir des déflagrations gazeuses les plus courantes. C'est ainsi que la chaleur volumique d'explosion de certains nuages de poussières, ceux de l'anhydride phtalique par exemple, descend en-dessous de 80 kcal/m³, alors que même avec les mélanges explosifs gazeux à base d'hydrocarbures acétylénique elle dépasse 320 kcal/m³.

Le temps qu'il faut pour un grain de poussière pour se consumer est incomparablement plus long que celui de la réaction des molécules voisines les unes des autres dans la flamme d'une déflagration d'un mélange gazeux explosif. Dans cette flamme, dont l'épaisseur est de quelques dixièmes de millimètres la réaction chimique s'accomplit en un temps de l'ordre d'une milliseconde, tandis que, dans l'explosion d'un nuage de poussière, une particule solide demande 100 à 500 millisecondes pour réagir, de sorte que la flamme du nuage de poussières à une épaisseur de plusieurs décimètres.

8.2.2. Méthodes d'étude expérimentale des nuages poussiéreux

Les premières études expérimentales sur les poussières industrielles remontent à 1913.

DORSETT et collaborateurs ont donné une description détaillée des appareils mis au point à la station d'essai de Pittsburgh du Bureau of Mines pour déterminer les températures d'inflammation, les énergies minimales d'inflammation, les limites inférieures d'inflammabilité, les pressions d'explosion.

L'appareil de HARTMANN dont la fig. 41 donne un schéma est très employé aux U.S.A. en Grande Bretagne et en France.

Il consiste en un tube transparent, vertical, de 30 cm de haut et 6,4 cm de diamètre intérieur, fermé à la partie supérieure par un diaphragme en papier ; le volume est de 1,25 litre. Il permet l'observation visuelle de l'explosion de la poussière ; celle-ci est mise en suspension avant le déclenchement de l'étincelle d'allumage, par un jet d'air comprimé.

Un tube vertical, analogue à l'appareil précédent, mais complètement clos, résistant à la pression et muni de capteurs de pression, sert à enregistrer l'évolution de la pression au cours de l'explosion.

SCHWAB opère dans une chambre cylindrique verticale de 1,3 litre qui peut être fermée à la partie supérieure soit par un fond plein, soit par un bouchon ayant un petit orifice, ce qui permet de comparer les résultats de l'explosion en vase clos à ceux de l'explosion dans un récipient présentant un évent permanent.

8.2.3. Limites d'inflammabilité des nuages de poussière.

On conçoit qu'un aérosol trop pauvre en poussières ne puisse pas être le siège d'une flamme s'y propageant, et qu'il existe, pour un nuage de poussière comme pour un mélange gazeux, une limite inférieure d'inflammabilité :

C'est la plus petite teneur en poussières pour laquelle la combustion, amorcée en un point, peut s'étendre, de proche en proche dans tout le volume poussiéreux.

Cette limite inférieure dépend, non seulement de la nature chimique, les poussières combustibles, mais aussi des caractéristiques géométriques des particules et de sa granulométrie.

Pour le sucre ordinaire elle est de 40 g/m³ pour des poussières ayant une surface spécifique de 3830 cm²/g et 180 gr/m³ pour des poussières plus grosses de 2350cm²/g.

Elle est presque toujours pour une substance donnée, d'autant plus petite que les poussières sont plus fines.

La limite inférieure dépend aussi, dans une large mesure, de la nature et de l'intensité de la source d'inflammation.

Les valeurs de la limite inférieure d'inflammabilité dans l'air d'une poussière explosive diffèrent beaucoup d'un auteur à l'autre parce que les expérimentateurs ont utilisé des sources d'inflammation d'efficacité différentes, ou se sont servis d'appareils de formes et de dimensions très différentes, ou enfin opéraient avec des poussières de finesses différentes.

Mais cette grande incertitude sur la limite inférieure d'inflammabilité est pratiquement sans importance ; en effet, dans un atelier ou dans un appareil où se forme, que se soit normalement ou accidentellement, un nuage de poussière, on ignore toujours la concentration du nuage ; elle est d'ailleurs variable d'un instant à l'autre et n'est presque jamais uniforme dans le volume considéré.

Donc la connaissance de valeurs justes et précises de la limite inférieure d'inflammabilité, qui, pour les mélanges gazeux, est à la base des mesures de sécurité, serait de peu d'utilité dans le cas des nuages de poussières.

On doit admettre pratiquement que, si un solide combustible est quelque peu poussiéreux, il est toujours susceptible de créer un nuage explosif là où on le manie.

8.2.4. Effets des corps inertes

Deux sortes de corps inertes peuvent se rencontrer dans un nuage poussiéreux ; ce peut être un gaz inerte dans la phase gazeuse ; ce peut être aussi une matière pulvérulente incombustible dans la phase dispersée.

Dans les atmosphères dont le pouvoir comburant a été diminué par l'addition de gaz inerte, la limite inférieure prend une valeur différente, et s'il y a suffisamment de gaz inerte aucune propagation n'est plus possible.

C'est ainsi qu'avec la plupart des poudres organiques (poudres de matières plastiques en particulier) toute inflammation d'un nuage cesse, à la température ordinaire, quand le taux d'oxygène de l'atmosphère est $< 10 \%$.

En revanche certaines poudres métalliques peuvent encore produire des explosions de poussières, avec de l'air appauvri par addition d'Azote et renfermant moins de 5% d' O_2 .

Quand la phase dispersée comprend des poussières inertes (non combustibles) mêlées à la poussière combustible, la poussière inerte peut, à un taux suffisant, rendre le nuage non explosif.

Par exemple un nuage renfermant $126\text{g}/\text{m}^3$ de poudre d'aluminium est très explosif ; mais si on lui ajoute la même masse de silice en poudre fine on ne peut plus le faire exploser.

8.2.5. Vitesse de propagation et pressions de déflagration des nuages de poussières.

En ce qui concerne la vitesse de flamme et la pression de la déflagration, les nuages poussiéreux se comportent de façon semblable aux mélanges gazeux explosif ; comme pour ceux-ci, la vitesse spatiale de la flamme est fortement accrue quand le nuage de poussière est en état de turbulence ; elle peut alors atteindre 1000 m/s .

Les photographies ont montré que la flamme n'a pas, contrairement à ce qui se passe dans les mélanges gazeux, un front bien défini ; elle a une épaisseur considérable et il est très malaisé de mesurer une vitesse spatiale.

Les enregistrements de montée en pression en vase clos sont des courbes analogues à celle de la fig. 6.

De ces enregistrements on peut tirer les caractéristiques suivantes :

- pression maximale atteinte
- pression moyenne de montée en pression
- et
- pression maximale de montée en pression.

Il n'y a pas de raisons théoriques s'opposant à l'existence de propagation par détonation (vitesse supersonique) dans un aérosol ; il semble qu'on en ait réalisé dans des nuages d'aluminium en poudre.

8.2.6. Température d'inflammation des poussières.

Les expérimentateurs ont cherché à déterminer des températures d'inflammation de la poussière mise en suspension dans l'air.

Les appareils utilisés sont très divers et les résultats publiés sont souvent très dispersés, les écarts dépassant parfois 100°C .

L'appareil le plus fréquemment employé est le four de GODBERT-GREENWALD ; (fig. 42) il peut servir aussi à déterminer la valeur du taux maximal d' O_2 à ne pas dépasser dans une atmosphère poussiéreuse additionnée de gaz inerte.

Cette température d'inflammation dépend considérablement de la finesse de la poudre, de l'état de surface des grains, de l'humidité etc...

Si on veut connaître la température d'inflammation d'une poussière déterminée, on ne trouvera qu'une indication d'orientation en consultant les tables qui ont été publiées, et cela ne dispensera pas de soumettre aux épreuves la poussière à laquelle on a à faire.

8.2.7. Energie minimale d'inflammation des nuages de poussières

L'inflammation d'un nuage de poussières par une étincelle électrique n'a lieu que si l'énergie de l'étincelle a une valeur suffisante.

Les énergies minimales publiées pour les poussières ont un ordre de grandeur au moins égal à 20 fois, dépassant même éventuellement 100 fois celui des énergies minimales d'inflammation des gaz par étincelle.

Elle varie beaucoup d'une poussière à une autre pouvant n'être que de 5 mJ ou être de plusieurs J.

8.2.8. Les accidents par explosions de poussières

On distingue deux types principaux d'accidents :
d'une part, les explosions dans un appareil de traitement des produits ou dans une capacité de stockage,
d'autre part, les explosions dans l'atmosphère d'un atelier ou d'un local poussiéreux quelconque.

Ces dernières peuvent être la conséquence du premier type si l'appareil qui en est le siège donne issue, en s'ouvrant ou en se rompant dans un atelier, à un nuage poussiéreux, ou si, plus simplement, le souffle qui accompagne l'explosion met en suspension la poussière qui se trouvait déposée dans l'atelier.

Une première règle de sécurité est celle-ci :
tout appareil susceptible de donner lieu à une explosion de poussière et que l'on peut sans inconvénient placer hors d'un atelier doit être installé en plein air, ou, à la rigueur, sous un auvent, c'est le cas par exemple, des cyclones de dépoussiérage.

En second lieu, on peut recommander qu'un appareil placé dans un atelier, soit conçu de telle sorte qu'il ne puisse pas éjecter de poussières dans l'atmosphère, mais ceci n'est pas toujours possible.

Beaucoup d'explosions du premier type ont pour cause l'électrisation de la poussière : elle est fréquente dans les systèmes de transport pneumatique de la poussière une poussière en suspension dans l'air est donc constituée en règle à peu près générale, par des particules électrisées ; les charges électriques passent peu à peu aux parties solides, parois ou autres, de l'appareillage au contact desquelles elles arrivent ; si ces parties sont métalliques et reliées électriquement à la terre, elles ne retiennent pas les charges qu'elles ont captées, mais gardent seulement les charges qu'elles ont par influence puisqu'elles sont entourées d'un nuage électrisé ; des parties isolées électriquement verraient par contre leur charge croître peu à peu et pourraient donner lieu à une décharge disruptive jaillissant vers une partie reliée au sol.

On peut éviter ces explosions en utilisant un gaz inerte comme fluide porteur mais c'est parfois difficilement réalisable ou jugé trop coûteux.

On peut aussi, chasser un produit solide pulvérulent d'un récipient en l'aspirant par un vide partiel, une pompe se trouvant en aval dans le circuit ; cette solution est généralement considérée comme plus sûre :

d'une part, elle met la poussière dans une atmosphère où la pression partielle de l'O₂ est moins élevée que dans l'air comprimé,

d'autre part, elle implique une vitesse du courant poussiéreux moins élevée que dans les systèmes où l'on injecte de l'air comprimé ; or une vitesse moindre est de nature à engendrer moins facilement des charges d'électricité statique ; enfin en cas d'ouverture accidentelle de la ligne de transfert, elle ne donne pas lieu à l'expulsion d'un nuage poussiéreux.

Le risque d'électrification est également élevé dans les installations fonctionnant à des températures $> 80^{\circ} \text{C}$ comme des tubes sécheurs tournants, car enfin de séchage, la poussière, très peu humide, est plus facilement électrisable, et en outre, son énergie minimale d'inflammation est devenue moindre.

8.2.9. La prévention des explosions de poussières.

En premier lieu on s'efforcera d'éliminer les sources d'inflammation.

Des sources d'inflammation fréquentes sont les lampes électriques à incandescence et en particulier les lampes baladeuses. Elles doivent être installées sous globe étanche, et au besoin, être protégées des chocs, par un robuste grillage.

Certaines sources d'inflammation peuvent se rencontrer là où l'on ne s'y attend guère ainsi il faut éviter d'aspirer et de refouler de la poussière combustible inflammable dans une cheminée qui recevrait également des fumées provenant de fours éloignés.

Contre l'électrification des poussières, cause fréquente du déclenchement de leur explosion, on doit se prémunir par la mise à la terre généralisée des parties métalliques des installations, sans oublier les véhicules de transport et les tuyaux flexibles métalliques.

Un moyen efficace, mais auquel d'autres considérations empêchent en certains cas de recourir, consiste à introduire un gaz inerte dans l'air d'un appareil poussiéreux.

L'incorporation d'une poussière inerte à la poussière combustible traitée procédé qui n'est que peu employé dans l'industrie, exige que les caractéristiques des deux poussières soient telles qu'il n'y ait pas ultérieurement de ségrégation.

A côté des mesures de prévention qui précèdent, il existe des mesures de précaution dont la principale est l'installation d'évents (cfr. ci-dessous).

Il existe aussi des systèmes rapides d'extinction d'une explosion, dans les tout premiers instants de son évolution, avant qu'elle ait pu se développer de façon dangereuse ; ces systèmes fonctionnent par la décharge à débit élevé d'un gaz inerte ou d'une poudre inerte (en général du bicarbonate de sodium) ou d'un fluide halogéné bromé ; grâce à un dispositif pyrotechnique, le déclenchement peut être rapide ; il est commandé soit par capteur de pression

soit par un thermomètre sensible

soit par un détecteur de rayonnement.

Une des mesures les plus efficaces, pour éviter les explosions de poussières, consiste en des nettoyages fréquents (par aspiration) qui réduisent la quantité de poussière éparse dans les locaux ; dans la construction de ceux-ci, on devrait chercher à rendre lisses les murs, les sols et autres surfaces et à exclure les rebords horizontaux inutilisés.

8.2.10. La limitation au moyen d'évents des dégâts aux appareils sujets à explosion de poussières

Si certains appareils, les broyeurs par exemple, peuvent être construits de façon telle qu'ils supportent sans dommage une explosion interne de poussières, d'autres ne le peuvent pas ; on doit alors limiter ou même rendre négligeables les dégâts qu'ils subiraient en les dotant d'évents.

A l'exception de certaines poussières métalliques très fines, les nuages poussiéreux ne produisent en explosant que des pressions modérées et surtout la vitesse maximale de montée en pression est inférieure à celle des gaz explosifs ; la vitesse maximale de montée en pression d'un mélange de poussières turbulent ne dépasse guère celle d'un gaz explosif initialement au repos.

En outre, le plus souvent, un coup de poussières a un démarrage lent (relativement) car, au début, il n'intéresse qu'une portion restreinte de l'installation ; en effet, dans un appareil de dimensions notables, les concentrations dangereuses ne sont pas, à cause de l'instabilité physique inhérente aux aérosols, réalisées dans tout le volume de l'appareil, mais seulement dans certaines zones ; la pression, dans les premières millisecondes de l'explosion, ne monte qu'assez lentement ce qui laisse aux événements le temps de se découvrir, avant que la poussière déposée en d'autres zones ait été mise en suspension.

Mais le problème du calcul des surfaces d'évents pour parer aux coups de poussières est rendu plus compliqué par la nature même des explosions de poussières qui diffèrent des explosions de gaz sur divers points, entre autres ceux-ci :

- a) la granulométrie de la poussière a un effet considérable sur le déroulement de son explosion ;
- b) la concentration de la poussière dans le nuage varie beaucoup d'un point à un autre, à l'intérieur d'un appareil ou d'un atelier ;
- c) la flamme d'une explosion de poussière a un volume considérable et ne ressemble pas du tout à la flamme pelliculaire d'un gaz explosif.

Il existe des Guides ou des Codes pour l'installation d'évents destinés à protéger des installations sujettes à explosion de poussières.

Les règles qui s'y trouvent ne peuvent être que des règles approximatives. C'est qu'en effet, il n'y a pas pour une même sorte de poussière, deux explosions qui soient identiques ; elles diffèrent toujours soit par le taux d'humidité de la poussière ou par sa finesse, soit par la nature de la source qui déclenche l'explosion et la situation de cette source par rapport à l'emplacement des événements, soit par le degré de turbulence, bref, par de nombreux facteurs dont les codes ne peuvent pratiquement pas tenir compte.

Il ne faut donc pas avoir une confiance illimitée dans ces codes ; mais la mise en place d'évents permet toujours une réduction des dégâts.

On peut aussi, quand se présente le cas d'un appareil particulier, s'appuyer sur les résultats, quand ils existent, d'essais faits sur des appareils similaires avec une poussière ayant les mêmes caractéristiques que celle qu'on doit traiter ; mais pour une unité complexe, comprenant des appareils divers dans lesquels se trouvent des organes internes de forme parfois compliquée, force est de recourir à une expérimentation ad hoc.

Certains cas moins complexes ont fait l'objet de traitements théoriques.

Pour certaines poussières on peut se servir d'abaques établis à la suite d'importantes recherches expérimentales établis par PINEAU, GILTAIRE et DANGREAU.

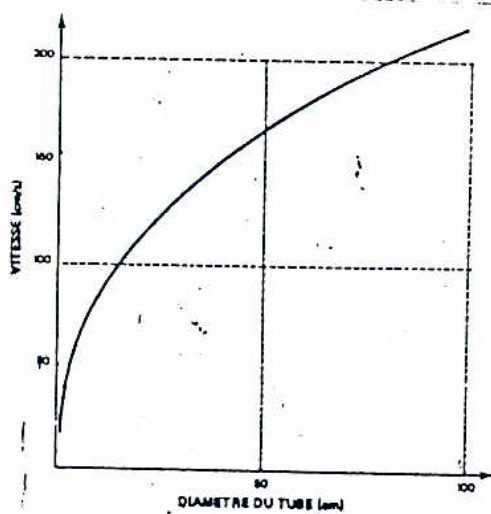


Figure 1.- Vitesse uniforme de la flamme d'un mélange d 8 % de méthane et d'air, en fonction du diamètre.

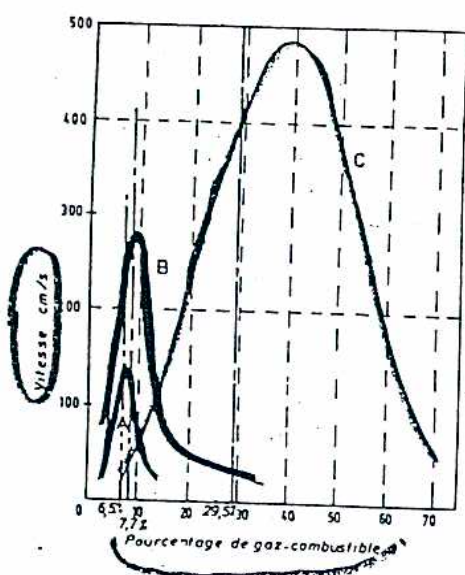


Figure 2.- Vitesse du mouvement uniforme en tube de 2.5 cm de diamètre des mélange avec l'air de : A : éthylène ; - B : acétylène ; - C : hydrogène - (Les verticales en trait mixte ont pour abscisses les pourcentages des mélanges oxy-équilibrés).

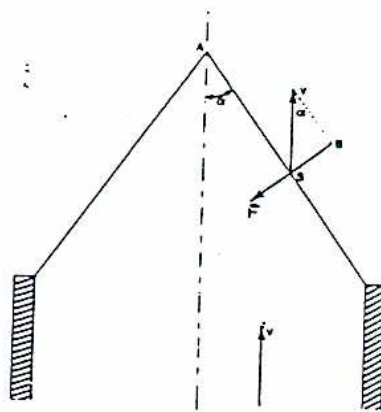


Figure 3.- Flamme conique du bec Bunsen.

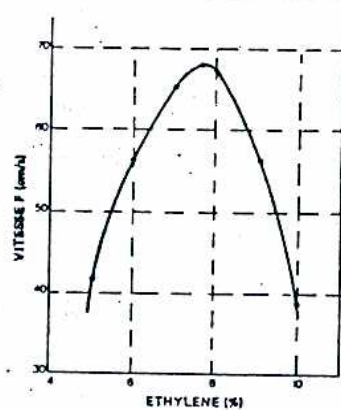


Figure 4.- Vitesse fondamentale des mélanges d'éthylène et d'air.

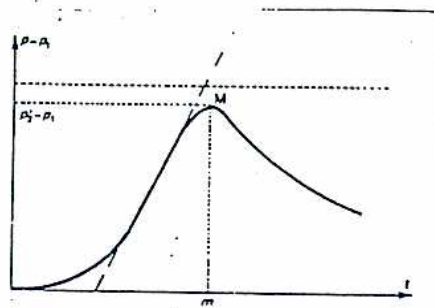


Figure 5

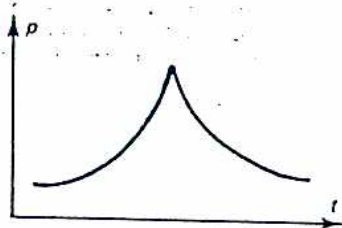


Figure 7.a

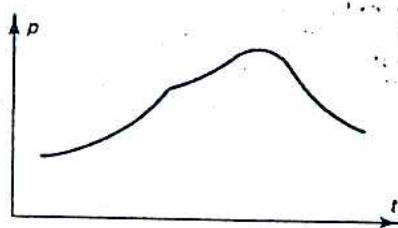


Figure 7.b

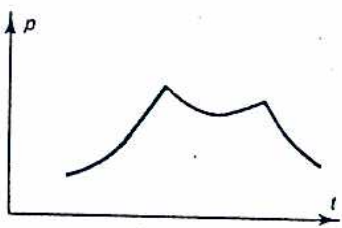


Figure 7.c

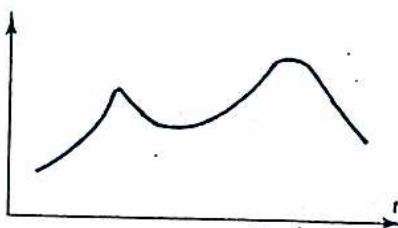


Figure 7.d