

UNIVERSITE DE LIEGE.
FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES.

ENSEIGNEMENT COMPLEMENTAIRE EN SECURITE ET HYGIENE DU TRAVAIL.

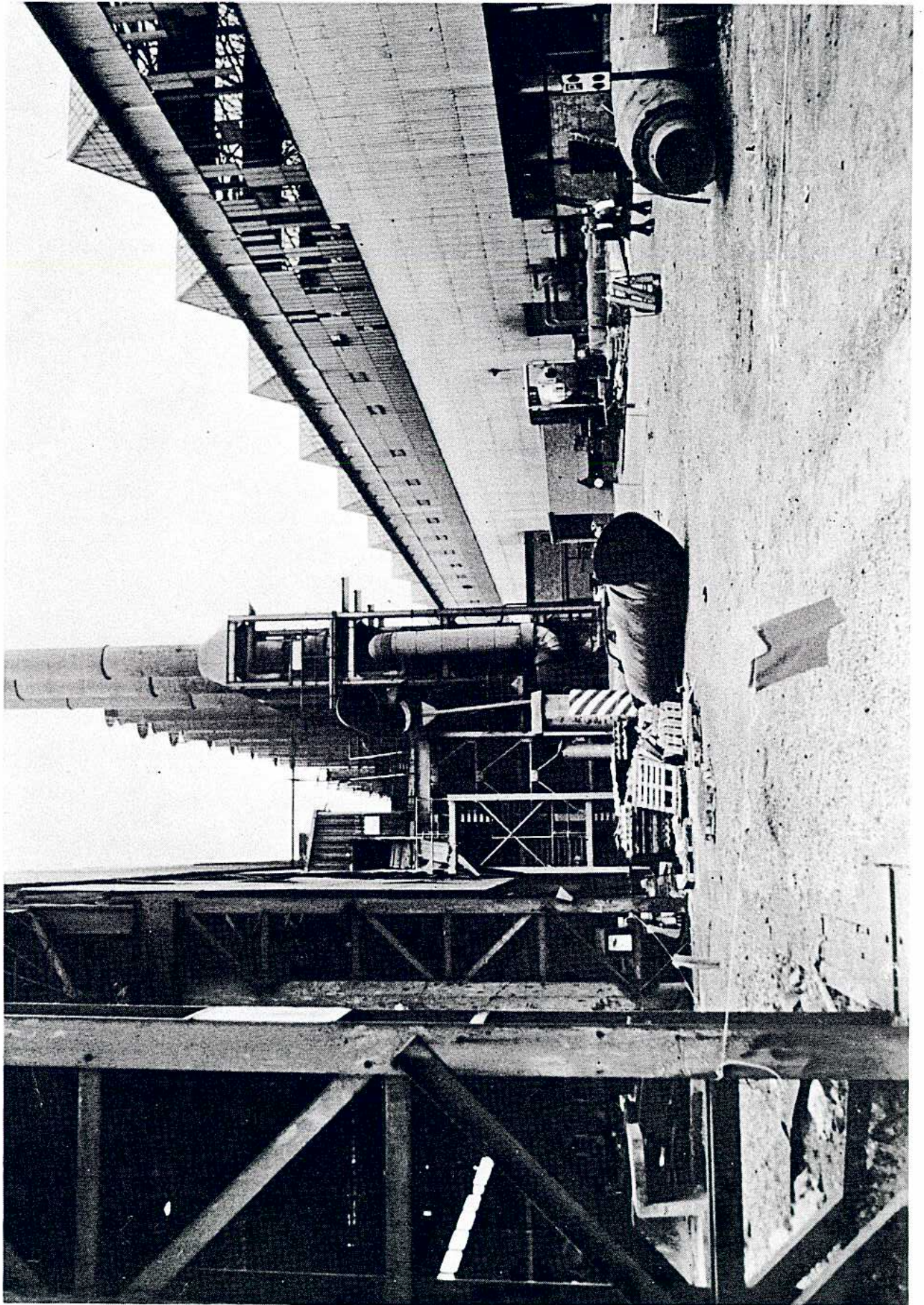


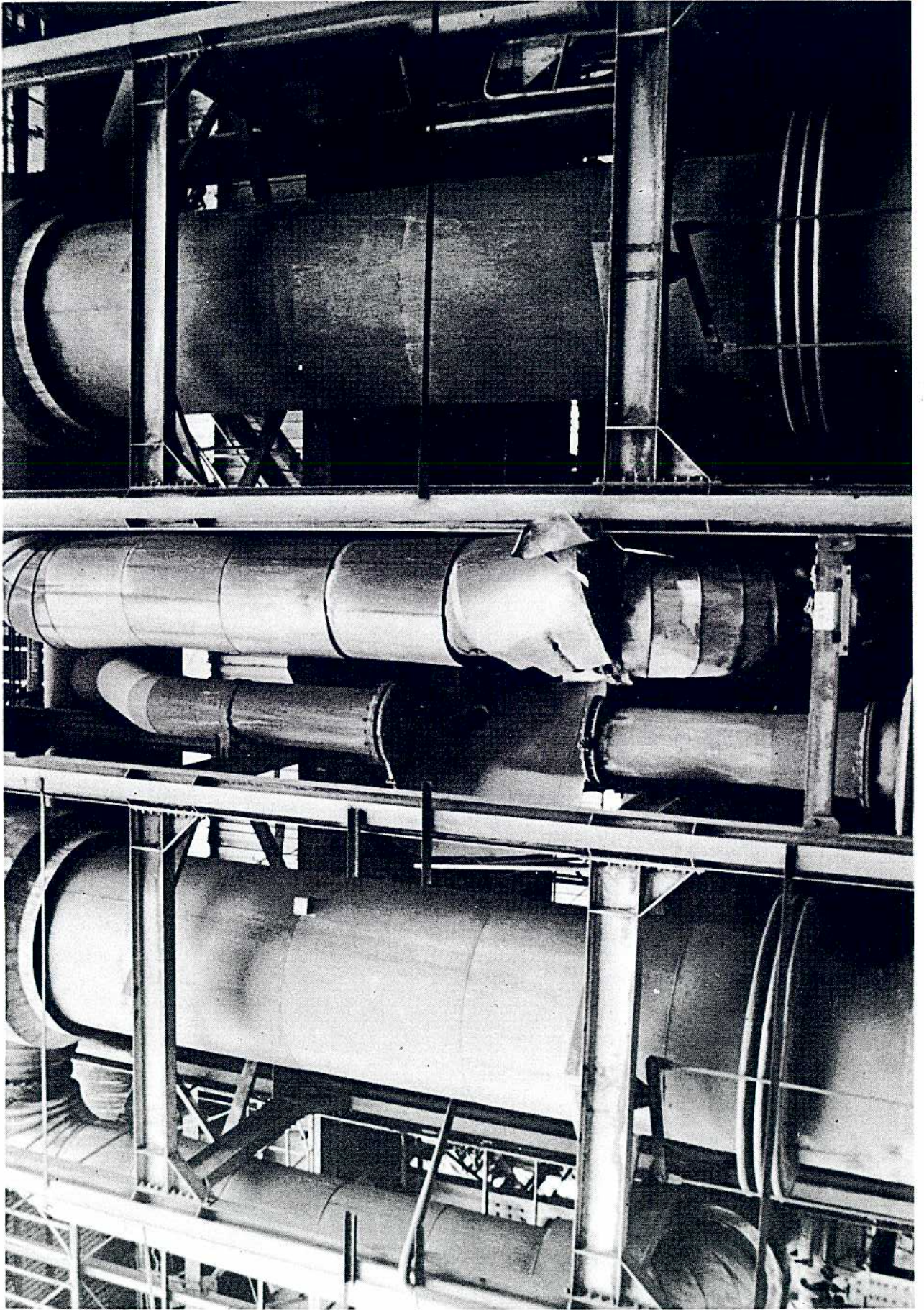
LES EXPLOSIONS

Ir M. MAINJOT.
ex-Assistant au Service
d'exploitation des Mines.
Maître de conférences

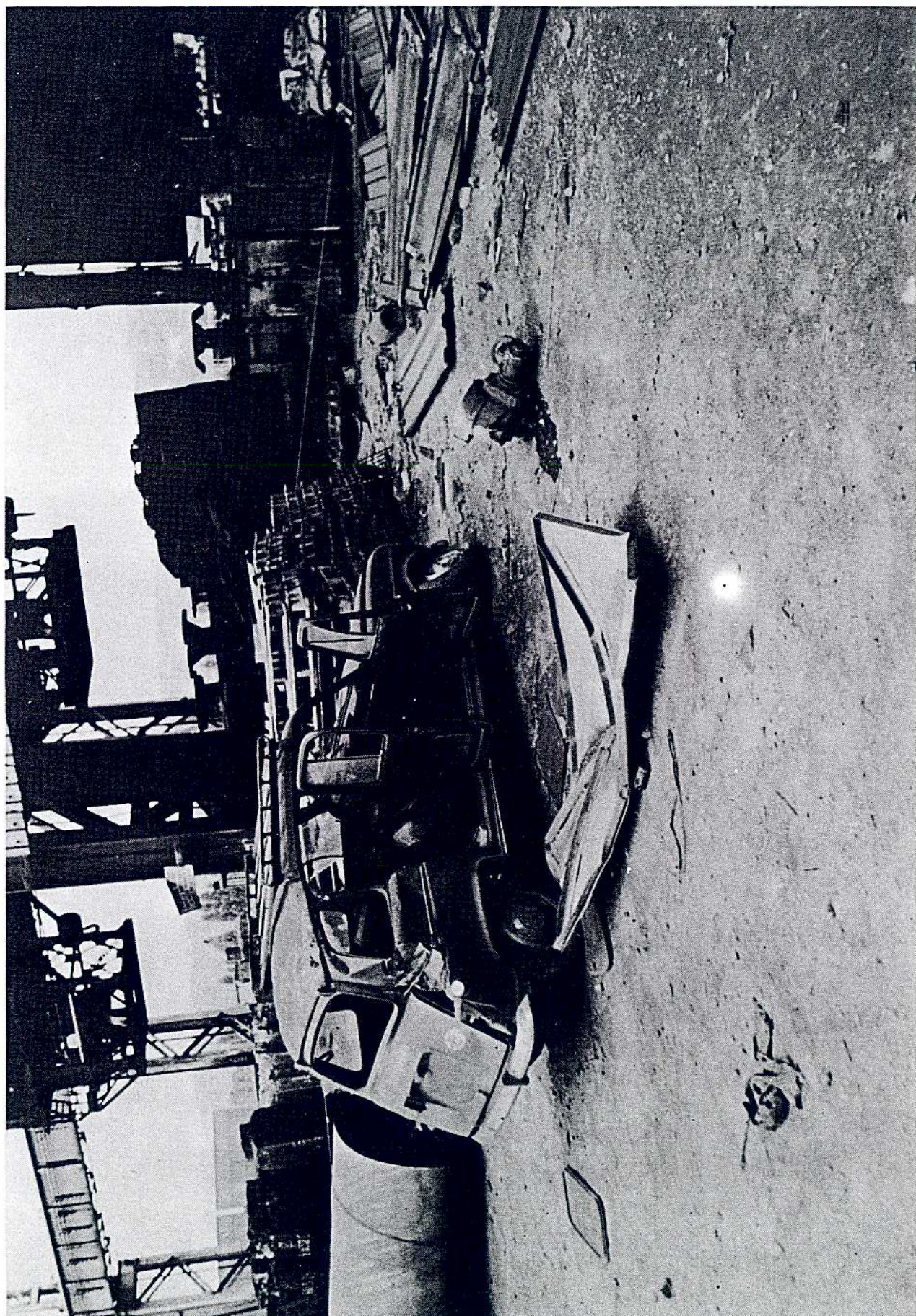
Octobre 1999

Rev. 2004









1er NIVEAU.

RISQUES COLLECTIFS.

EXPLOSIONS

Introduction.

CHAPITRE I.

Généralités sur les explosifs accidentels ou occasionnels.

1. Définition des explosions et des explosifs
2. Explosifs accidentels et occasionnels
3. Critère du caractère explosif
4. Classification des explosifs accidentels et occasionnels
5. Modalités des explosions chimiques
6. Dosage de la combustion complète et bilan d'oxygène.

CHAPITRE II.

Les explosions de gaz, vapeurs, brouillards et poussières inflammabl

1. Caractères généraux des systèmes gazeux explosifs
 - 1.1. Introduction
 - 1.2. Unités de pression, état de référence, équation d'état
 - 1.3. Expression de la composition d'un mélange gazeux
 - 1.4. Composition de l'air
 - 1.5. Classification des explosions en milieux gazeux
 - 1.6. Les flammes froides
 - 1.7. Différence entre explosifs gazeux et explosifs condensés.
2. Températures théoriques d'explosion des gaz explosifs - Pression d'explosion.
 - 2.1. Définition
 - 2.2. Température d'explosion à pression constante
 - 2.3. Température d'explosion à volume constant
 - 2.4. Pression d'explosion adiabatique.
3. Vitesse et pression des déflagrations de gaz.
 - 3.1. Vitesse des déflagrations de gaz
 - 3.1.1. Vitesse de flammes déflagrantes ou vitesses spatiales
 - 3.1.2. Célérité des déflagrations de gaz
 - 3.1.3. Valeurs de la vitesse fondamentale de flamme

- 3.1.4. Mouvement de la flamme dans une enceinte non tubulaire
- 3.1.5. Mouvement de la flamme dans une enceinte ouverte à l'atmosphère.
- 3.2. Pressions produites par les déflagrations en vase clos
 - 3.2.1. Pertes d'énergie au cours des déflagrations et expériences
 - 3.2.2. Valeurs des pressions de déflagrations en récipients sphériques
 - 3.2.3. Considérations théoriques sur les pressions des déflagrations sphériques
 - 3.2.4. Pressions de déflagration dans les récipients cylindriques
 - 3.2.5. Evolution de la pression dans un récipient présentant une ouverture
 - 3.2.6. Conclusions.
- 3.3. Les diaphragmes de rupture
 - 3.3.1. Définition des diaphragmes de rupture
 - 3.3.2. Types de disques de rupture
 - 3.3.3. Matière des disques de rupture
 - 3.3.4. Pression de rupture des disques
 - 3.3.5. Fonctionnement dynamique des disques de rupture
- 3.4. Protection d'appareils au moyen d'évents
 - 3.4.1. Caractères généraux des pressions en enceintes non closes
 - 3.4.2. Protection contre les effets de pression d'une déflagration dans une enceinte close
 - 3.4.3. Conditions d'installation des événements
- 3.5. Les coupe-flammes
 - 3.5.1. Le coincement des flammes
 - 3.5.2. Définition des distances de coincement
 - 3.5.3. Les coupe flammes
 - 3.5.4. Les coupe flammes à ruban gaufré
- 4. Température d'inflammation des mélanges gazeux explosifs
 - 4.1. Déclenchement thermique d'une explosion homogène
 - 4.2. Températures d'inflammation obtenues par la méthode du pyromètre
 - 4.3. Retard à l'inflammation
 - 4.4. Influence de la pression et de divers autres facteurs
 - 4.5. L'inflammation par compression adiabatique
 - 4.6. Températures d'inflammation des vapeurs de liquides combustibles
 - 4.7. Conséquences concernant la sécurité.

5. Limites d'inflammabilité des mélanges gazeux explosifs.
 - 5.1. Limites d'un gaz inflammable dans l'air
 - 5.1.1. Définition des limites d'inflammabilité
 - 5.1.2. Modalités des déterminations expérimentales
 - 5.1.3. Influence de la température
 - 5.1.4. Propagation aux pressions inférieures à la pression atmosphérique
 - 5.1.5. Limites d'inflammabilité aux pressions supérieures à la pression atmosphérique
 - 5.1.6. Résultats concernant les limites dans l'air.
 - 5.2. Mélanges divers comprenant des gaz combustibles
 - 5.2.1. Mélange de plusieurs gaz combustibles avec l'air
 - 5.2.2. Limites d'inflammabilité dans l'oxygène
 - 5.2.3. Mélanges d'un gaz combustible, d'air et d'un gaz inerte.
6. Les limites d'inflammabilité : applications à la sécurité
 - 6.1. Le caractère inflammable
 - 6.1.1. Evaluation du caractère inflammable d'un gaz
 - 6.1.2. Températures - limites d'inflammabilité
 - 6.1.3. Sécurité de réservoirs de liquides inflammables
 - 6.1.4. Les points d'éclair des liquides inflammables.
 - 6.2. Réalisation de mélanges gazeux non explosifs
 - 6.2.1. Mélanges hors des limites
 - 6.2.2. Elimination du risque par l'emploi de gaz inertes
 - 6.2.3. Mise sous gaz inertes des liquides inflammables dans les réservoirs.
7. Points chauds et étincelles
 - 7.1. Les sources d'inflammation des explosifs gazeux
 - 7.1.1. Généralités
 - 7.1.2. Principe fondamental de sécurité relatif aux sources d'inflammation
 - 7.1.3. Les corps pyrophoriques
 - 7.1.4. Les points chauds de nature banale
 - 7.2. Les points chauds produits mécaniquement
 - 7.2.1. Points chauds créés par la rupture
 - 7.2.2. Sources d'inflammation liées à des vibrations
 - 7.2.3. Le frottement
 - 7.2.4. Les alliages non étincelants
 - 7.2.5. Les étincelles de la réaction alumino-thermique
 - 7.2.6. Précautions à prendre vis-à-vis des étincelles mécaniques
 - 7.3. Les dangers de l'électricité statique
 - 7.3.1. Universalité du phénomène d'électrification
 - 7.3.2. Electrification d'un opérateur
 - 7.3.3. Electrification des corps solides
 - 7.3.4. Electrification des liquides en mouvement
 - 7.3.5. Electrification de systèmes à deux phases
 - 7.3.6. Mesures de sécurité concernant les liquides inflammables
 - 7.3.7. Energie minimale d'inflammation des gaz explosifs

- 7.4. Les étincelles électriques de rupture
- 7.5. Le matériel électrique de sécurité pour atmosphères explosives
 - 7.5.1. Classification des matériels pour atmosphère explosive
 - 7.5.2. Harmonisation des règles de construction du matériel électrique destiné à fonctionner dans une atmosphère explosible.
 - 7.5.3. Le matériel antidéflagrant
 - 7.5.4. Matériel à surpression interne
 - 7.5.5. Le matériel électrique à sécurité intrinsèque
 - 7.5.6. Les autres modes de protection
 - 7.5.7. Questions diverses
- 8. Les explosions de nuages poussiéreux
 - 8.1. Propriétés générales
 - 8.1.1. Fréquence et nuisance des explosions de suspension dans l'air
 - 8.1.2. Constitution des nuages et brouillards explosifs
 - 8.2. Explosions de poussières
 - 8.2.1. Mécanisme de la combustion des nuages poussiéreux
 - 8.2.2. Méthodes d'étude expérimentale des nuages poussiéreux
 - 8.2.3. Limites d'inflammabilité des nuages de poussière
 - 8.2.4. Effets des corps inertes
 - 8.2.5. Vitesse de propagation et pression de déflagration des nuages de poussière
 - 8.2.6. Température d'inflammation des poussières
 - 8.2.7. Energie minimale d'inflammation des nuages de poussières
 - 8.2.8. Les accidents par explosions de poussières
 - 8.2.9. La prévention des explosions de poussières
 - 8.2.10. La limitation au moyen d'évents des dégâts aux appareils sujets à explosion de poussières.

FORMATION COMPLEMENTAIRE DES CHEFS DE
SERVICE DE SECURITE, D'HYGIENE ET D'EMBELLISSEMENT
DES LIEUX DE TRAVAIL.

(1er niveau).

RISQUES COLLECTIFS.

EXPLOSIONS :

Avant toute chose, il convient de distinguer les explosifs intentionnels qui sont utilisés en fonction des effets recherchés, des explosifs occasionnels ou accidentels.

Il ne sera question dans ces chapitres que des seconds.

Ce sont généralement des corps ou des mélanges de corps doués de propriétés explosives que l'on pourrait qualifier d'accessoires alors qu'ils sont utilisés à de toutes autres fins qu'à celle de faire des explosions ou bien ils sont formés accidentellement à l'insu de ceux qui manipulent leurs constituants.

On ne saurait donc être surpris que ces substances puissent exploser sous des influences ou dans des circonstances diverses et que les effets de ces explosions inattendues non délibérément provoquées soient toujours destructeurs entraînant souvent des blessures de personnes voire des décès de ceux que le hasard ou leur occupation a placés trop près du centre de la réaction.

Ce type d'explosifs pose donc toute une série de problèmes.

Il s'agit donc de dresser l'inventaire des corps et mélanges de corps susceptibles de se comporter comme tels que ce comportement ait été vérifié expérimentalement ou simplement prévu théoriquement.

- et surtout
- d'établir les processus par lesquels les explosions peuvent être amorcées.
 - d'évaluer les effets à attendre
 - d'envisager les mesures à prendre pour que ces accidents soient évités.

C H A P I T R E I.

Généralités sur les explosifs accidentels ou occasionnels

1. Définition des explosions et des explosifs.

Une explosion est une transformation rapide d'un système matériel donnant lieu à une forte émission de gaz ;

Ceux-ci, s'ils se forment à l'air libre en un temps très court ou s'ils sont produits en vase clos sont sous une pression plus ou moins élevée et peuvent, en se détendant, produire des effets mécaniques divers et en particulier un bruit plus ou moins fort.

BERTHELOT écrivait en 1883 que l'expansion soudaine des gaz sous un volume beaucoup plus grand que le volume initial accompagné de bruits et d'effets mécaniques violents, constitue l'explosion.

Mais des explosions peuvent se produire dans des conditions telles qu'il n'y ait pas de bruit perceptible.

Pas plus que le bruit, une élévation de la pression n'est, du point de vue scientifique un caractère obligatoirement lié à la notion d'explosion ; comme l'a fait remarquer ELLIS le cône intérieur d'une flamme de brûleur Bunsen est une véritable flàmme explosive.

On a parfois défini une explosion comme un phénomène au cours duquel une quantité d'énergie élevée est libérée en un temps très court ; mais s'il est vrai qu'une soudaine libération d'énergie a souvent pour effet de transformer en gaz une partie au moins du système qui libère cette énergie, il existe cependant des réactions chimiques très exothermiques et relativement rapides sans production de gaz telle est la réaction de l'aluminothermie.



qui dégage environ 950 kcal par kg de mélange d'oxyde ferrique et d'alumine.

Une telle réaction qui donne de l'alumine et du fer fondus ne peut pas produire les effets mécaniques que l'on obtient avec les réactions explosives proprement dites et il faut donc s'en tenir, dans la définition des explosifs à un énoncé mentionnant explicitement l'intervention de gaz sinon un séisme entrerait parmi les explosions.

Du point de vue de la physicochimie on peut distinguer les groupes suivants d'explosions :

- a) les explosions dues à une réaction chimique ; le corps qui subit cette réaction est un explosif.
- b) les explosions dues à un phénomène physique, par exemple la décharge d'un condensateur à travers un fil métallique fin, impliquant une libération très rapide d'énergie en même temps que la volatilisation du métal.
- c) les explosions par réactions nucléaires (il en sera question dans une autre séance).
- d) les ruptures d'une enceinte contenant un fluide sous pression les explosions de ce genre peuvent être appelées des explosions pneumatiques.

Donc, un explosif est un système susceptible de donner lieu à une réaction chimique rapide produisant des gaz.

En fait toute explosion chimique est exothermique et par conséquent libère des gaz chauds.

Mais il n'est pas nécessaire que les produits de l'explosion soient tous gazeux ; une explosion peut encore avoir des effets violents quand une fraction notable de ses produits est formée de solides ou de liquides.

Une exception apparente à la règle suivant laquelle un explosif réagit en produisant des gaz est celle de composés ou de mélanges susceptibles de produire une réaction très rapide, et qui, en réagissant dans l'air produisent des effets de même nature que ceux qui sont propres aux explosifs bien que cette réaction chimique ne produise pas de gaz ; tels sont par exemple l'acétylure d'argent et le mélange d'aluminium poudre et de peroxyde de baryum. Mais lorsqu'ils sont dans le vide leur réaction cesse de produire ces effets, ce qui montre que ceux ci tiennent à la présence d'air occlus entre les grains de la matière ainsi qu'aux couches d'air voisines de cette matière, que la réaction chimique porte à une température élevée en un temps très court.

De tels corps ou mélanges ne sont pas des explosifs véritables ; il a été proposé de les appeler des pseudo-explosifs, et c'est l'association d'un pseudo -explosif avec l'air (ou le gaz) qui en occupe les interstices qui constitue l'explosif.

Comme il est exceptionnel qu'on manie un pseudo explosif dans le vide on doit le tenir pour dangereux au même titre qu'un explosif vrai.

2. Explosifs accidentels ou occasionnels.

Les substances douées de propriétés explosives peuvent être divisées en deux classes.

a) Les explosifs intentionnels ou explosifs par destination c'est-à-dire les corps qui sont fabriqués en vue de les utiliser par explosion dont on obtiendra des effets utiles
et

b) les explosifs accidentels et les explosifs occasionnels

Les explosifs accidentels sont des corps (ou mélanges) explosifs qui se forment par accident parfois à l'insu des opérateurs de l'industrie comme, par exemple, lorsqu'une fuite d'un gaz combustible engendre dans un atelier un mélange explosif de ce gaz dans l'air.

Les explosifs occasionnels sont des corps qui quoique doués de propriétés explosives, sont fabriqués et employés pour des usages n'impliquant pas leur explosion.

Ces corps sont donc utilisés (comme matière colorante ou comme agent de blanchiment par exemple) malgré leur caractère explosif, qui est alors un inconvénient.

Qu'ils soient intentionnels, occasionnels ou accidentels les explosifs et les phénomènes auxquels ils donnent lieu relèvent des mêmes lois et la plupart des distinctions ou des conclusions énoncées à propos des explosifs intentionnels sont applicables aux explosifs occasionnels ou accidentels.

3. Critère du caractère explosif.

A partir de quel point une émission de gaz peut-elle être jugée rapide et à partir de quelle valeur peut-on dire que des gaz sont à haute température ?

Il y a tous les intermédiaires possibles entre un corps à propriétés explosives accentuées, comme la nitroglycérine et les corps sans caractère explosif.

On ne peut pas fixer de frontière entre les substances explosives et celles qui ne le sont pas.

Si en vue d'une réglementation, on adopte un critère expérimental comme au Royaume-Uni pour établir une discrimination entre ce que l'on considère comme explosif et ce qu'on laisse hors du domaine réglementaire des explosifs, il s'agit d'un critère arbitraire justifiable seulement par des raisons de convenance pratique.

Il n'y a donc pas à s'étonner qu'une substance déterminée par exemple le "musc xylène" soit considérée comme tombant sous le coup de la loi sur les explosifs dans un pays et comme non assujetti à la loi d'un autre pays, les critères d'appréciation étant différents.

Ainsi, au Royaume Uni, une substance est considérée explosive sur le résultat d'une épreuve consistant à provoquer l'explosion, dans un appareil défini, d'une masse fixée, dans des conditions d'amorçage bien déterminée ; la pression est enregistrée au cours de cet essai ; si pour aller de 7 à 21 bars, il a fallu moins de 30 ms la substance est rangée parmi les explosifs.

Parmi les "explosifs intentionnels" on rencontre une gamme considérable de variation des trois propriétés :

- rapidité de transformation
- quantité de gaz produits
- température de ces gaz.

Une diversité plus grande encore se retrouve parmi les explosifs occasionnels ou accidentels.

Il y a donc des corps dont l'aptitude à l'explosion est tellement médiocre que l'on a pratiquement pas à s'inquiéter de leur caractère très peu explosif ; mais il y a des corps à caractère explosif un peu plus accentué quoique encore faible dont il convient de ne pas ignorer ce caractère car ils peuvent donner lieu à des explosions accidentelles.

Rappelons à ce sujet les explosions catastrophiques causées en 1947 à TEXAS CITY (plus de 400 morts) et à BREST (25 morts) par du nitrate d'ammonium impur.

4. Classification des explosifs accidentels et occasionnels.

Les explosifs occasionnels ou accidentels peuvent être soit des composés définis soit des mélanges.

Divers explosifs occasionnels sont des gaz.

par exemple : l'acétylène
le dioxyde de chlore
l'oxyde d'éthylène

le plus grand nombre sont des corps solides ou liquides.

Parmi les explosifs accidentels se trouvent de très nombreux mélanges avec l'air (ou éventuellement l'oxygène ou un autre gaz comburant)
d'un gaz
ou d'une vapeur combustible
ou d'une poussière combustible.

Ces mélanges gazeux explosifs qui sont un risque permanent dans certaines industries sont la cause d'explosions accidentelles relativement fréquentes.

Les explosifs occasionnels solides et liquides peuvent aussi être des mélanges et le plus souvent ces mélanges associent des corps combustibles avec des corps comburants ; c'est qu'en effet, les réactions où intervient l'oxygène sont susceptibles d'être très vives et fortement exothermiques.

X
X X

Le nombre des composés définis ayant un caractère explosif est considérable ; c'est probablement par dizaine de mille qu'ils se comptent.

Quant aux mélanges explosifs, ils sont en nombre infini.

5. Modalités des explosions chimiques.

On distingue les explosions homogènes des explosions hétérogènes.

Les explosions hétérogènes sont celles qui amorcées en un point d'un système, s'y propagent de proche en proche.

La réaction chimique s'accomplit dans une zone de faible épaisseur au delà de laquelle se trouve le milieu qui n'a pas encore réagi, et en deçà de laquelle se trouvent les produits, à haute température, de la réaction.