

Protection des canalisations, réservoirs et autres ouvrages souterrains en acier contre la corrosion.

INTRODUCTION

C'est au début des années 1930 que Distrigaz a commencé la réalisation des premières canalisations de transport de gaz en acier. Ces canalisations étaient enterrées et la seule protection qui existait à l'époque contre la corrosion de l'acier se composait d'un revêtement de jute asphaltique.

Ce type de revêtement n'offrait qu'une protection passive.

Très rapidement cette solution s'est avérée tout à fait insuffisante. La corrosion en milieu humide vint en effet à bout des nouvelles conduits, par de nombreux percements, dans les 6 premiers mois de leur mise en service.

Les services techniques de Distrigaz firent alors oeuvre de véritables pionniers en découvrant la nature électrochimique de la corrosion et en mettant au point une technique capable de combattre toutes les formes de corrosion des structures métalliques en milieu humide: la protection cathodique.

Les critères de protection, qui avaient alors été définis empiriquement, trouvèrent leur justification scientifique quelques années plus tard par les travaux du professeur Pourbaix de l'Université Libre de Bruxelles.

En un demi-siècle, Distrigaz a acquis une expérience unique qui a fait d'elle un leader reconnu dans ce domaine. Elle a étudié et/ou réalisé plusieurs milliers d'installations de protection cathodique en Belgique comme à l'étranger.

A ce jour, ont été protégés cathodiquement:

- 10.000 km de canalisations de gaz;
- 6.000 km de canalisations d'hydrocarbures, d'oxygène, d'azote, d'eau, etc;
- 5.000 km de câbles H.T., téléphone et de signalisation;
- 2.000 réservoirs en acier (stockages d'hydrocarbures);
- des châteaux d'eau, des stockages de gaz, des pieux métalliques et autres ouvrages souterrains.

LA CORROSION

La corrosion est le phénomène de destruction du métal sous l'action d'un milieu agressif. Nous considérons ici l'action d'un milieu humide.

Comment ? On a constaté que, lorsqu'un corps métallique en contact avec un milieu humide est parcouru par un courant électrique continu, deux phénomènes opposés peuvent se produire :

1. Lorsque le courant sort du métal (sens conventionnel), il y a décomposition de ce dernier en ses ions, il passe en solution dans le milieu humide : il y a corrosion.

On dit que le métal est **anodique** ou qu'il constitue une **anode** ; donc ANODE = CORROSION (fig.1).

2. Lorsque le courant entre dans le métal, il empêche la dissolution du métal, celui-ci est alors **immunisé ou protégé de la corrosion**. On dit que le métal est cathodique, ou qu'il constitue une **cathode** ; donc CATHODE = PROTECTION (fig. 2).

Pourquoi ?

1. Corrosion naturelle

Lorsqu'un corps métallique est plongé dans un milieu humide, il se produit une différence de potentiel électrique entre le métal et le milieu environnant qui constitue un électrolyte. Cette différence de potentiel entraîne spontanément la circulation d'un courant électrique de l'un vers l'autre.

Pour certains métaux, la différence de potentiel conduit à une circulation de courant vers le milieu environnant qui provoque la corrosion par dissolution du métal (fig. 1).

Pour d'autres, dits nobles (tels l'or, le platine ou l'argent), la différence de potentiel est de signe contraire et rend toute dissolution du métal impossible car le courant circule vers le métal (fig. 3).

2. Corrosion par courants dérivés

D'importants courants électriques **continus** circulent dans le sol, en empruntant tout naturellement les ouvrages métalliques qui sont de bons conducteurs. Ces courants proviennent essentiellement de la traction électrique à courant continu (train - métro - tram - etc) mais aussi des usines équipées de générateurs électriques ainsi que des fluctuations du champ magnétique terrestre.

Dans le cas de la traction électrique, le courant continu fourni par les caténaires doit normalement retourner à la station électrique en utilisant les rails de roulement. Cependant, ce courant préfère emprunter le chemin de moindre résistance que constitue souvent une autre structure métallique - canalisation en acier par exemple. Tous ces courants sont dits pour cela courants-vagabonds. Ils ont tendance à créer des corrosions qui peuvent être très importantes aux endroits où ils quittent le métal, comme cela a été expliqué ci-dessus.

LA PROTECTION CATHODIQUE

La protection cathodique est une technique qui consiste à abaisser le **potentiel électrique** du métal vis-à-vis de l'électrolyte constitué par le milieu environnant à une valeur suffisamment négative, de manière à rendre le métal incorrodable.

Pourquoi ?

En abaissant le potentiel électrique du métal, on favorise le passage du courant depuis l'électrolyte vers le métal en rendant celui-ci **cathodique**.

C'est de là que la **protection cathodique** tient son nom.

Comment ?

Procédés de protection

Les procédés utilisés dépendent des dimensions des ouvrages, du milieu électrolytique environnant, de la présence ou non de courants vagabonds. Ils font appel à une source d'énergie extérieure.

- Protection par utilisation d'anodes

1. Petites structures : Protection par anodes réactives ou sacrificielles.

La source de courant est constituée en couplant électriquement le métal à protéger à une **anode** faite d'un métal moins noble (zinc - aluminium - magnésium) formant ainsi une sorte de "pile".

L'équilibre des potentiels et le sens de circulation des courants s'établissent de telle manière que c'est cette anode, dite alors sacrificielle, qui se corrode au profit du métal à protéger. Ces anodes sont remplacées périodiquement (fig. 5).

La source de courant étant de faible puissance, l'application de ce procédé se limite à la protection de réservoirs, de câbles électriques ou téléphoniques sous gaine en plomb et de conduites de faible longueur.

2. Grands ouvrages : soutirage de courant sur déversoir anodique.

Le principe est le même que ci-dessus mais on intercale un appareil redresseur à courant continu entre la structure métallique et un lit d'anodes formé de barreaux en ferrosilicium, graphite ou alliage de titane. La puissance de ce dispositif est beaucoup plus grande, son application est généralisée dans les régions qui sont peu ou pas influencées par des courants dérivés de la traction électrique.

- Protection contre les courants dérivés (dits vagabonds)

Drainage - soutirage

Le principe consiste à canaliser les courants vagabonds vers la conduite où l'ouvrage à protéger de manière à ce que ces courants circulent toujours du milieu environnant vers ces parties métalliques qui sont alors **cathodiques**.

Deux solutions sont utilisées :

1. Le **drainage** consiste à raccorder l'ouvrage à protéger directement par un câble à la sous-station électrique génératrice des courants dérivés. On intercale un relais polarisé pour éviter l'inversion du courant.

2. Le soutirage (fig.6).

Lorsque le drainage est insuffisant ou qu'il est impossible de relier l'ouvrage directement à la sous-station qui produit les courants dérivés, on procède par soutirage. Pour cela, il faut que l'ouvrage croise la ligne de traction électrique, auquel cas, on connecte les rails à l'ouvrage au moyen d'un redresseur à régulation automatique alimenté par le secteur.

LA PROTECTION PASSIVE

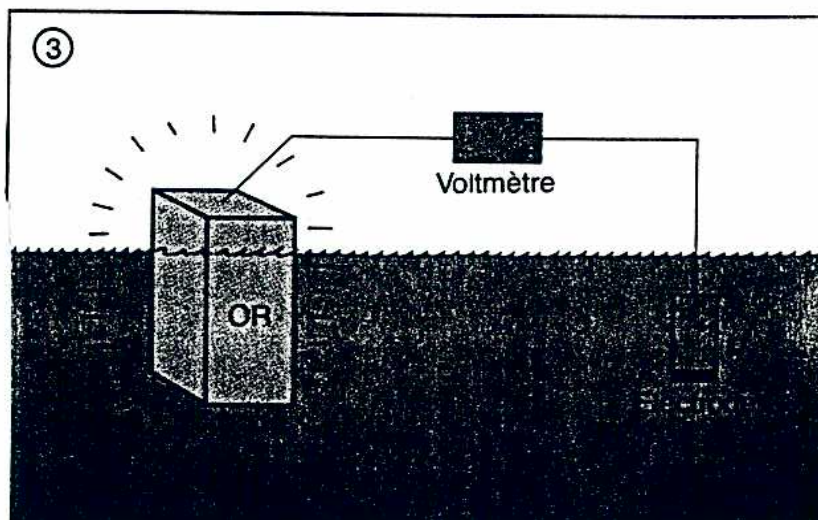
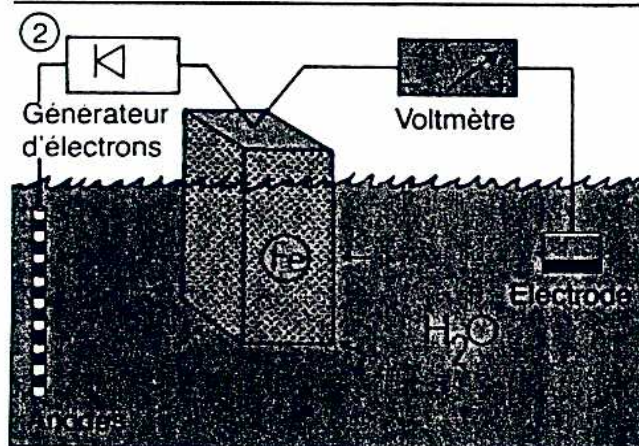
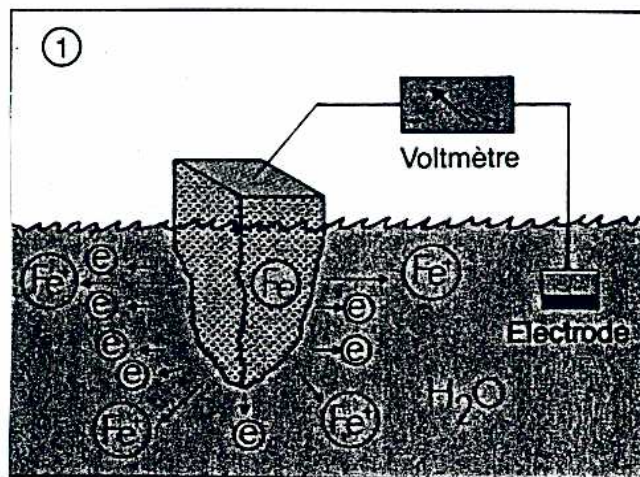
Il est théoriquement possible d'assurer la protection cathodique d'ouvrages métalliques non isolés, moyennant un apport d'énergie extérieur suffisant. En pratique, pour les ouvrages d'une certaine importance, cet apport d'énergie deviendrait trop important si l'on ne prenait la précaution de les isoler électriquement le mieux possible du milieu dans lequel ils se trouvent. C'est la **protection passive**.

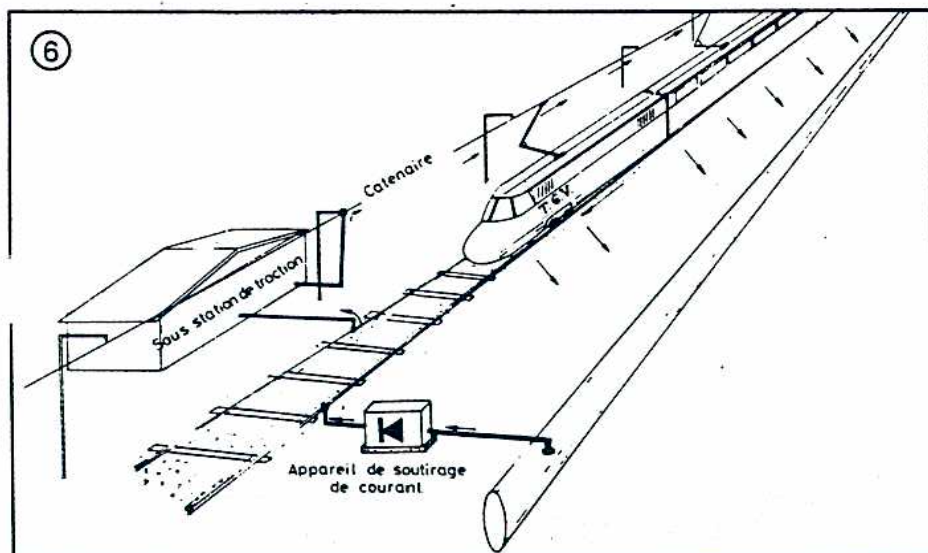
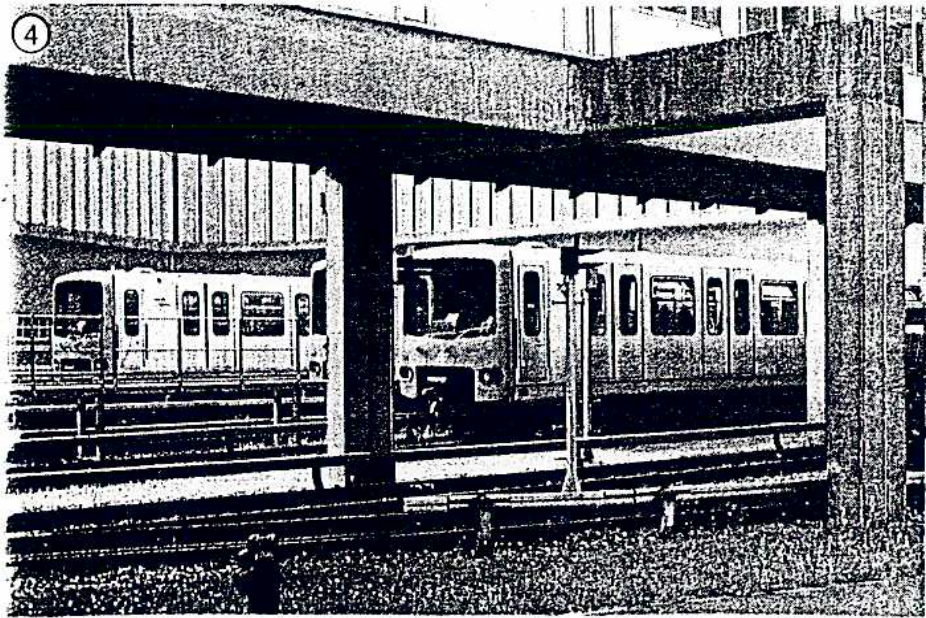
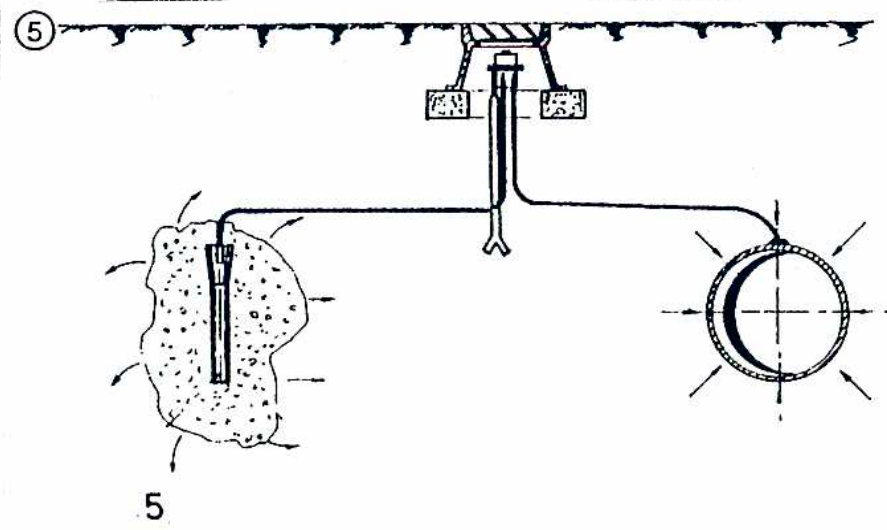
La protection passive consiste à créer une barrière aussi étanche que possible entre le métal et le milieu agressif ou humide environnant en le recouvrant d'un revêtement de qualité et en le séparant galvaniquement de toute structure externe non protégeable. Le revêtement doit être un bon isolant électrique et présenter une bonne résistance mécanique.

Nécessaire mais pas suffisant !

Un tel revêtement est une protection *nécessaire* contre la corrosion mais l'expérience et les mesures ont démontré qu'elle n'est en général pas suffisante. En effet, malgré toutes les précautions prises, il existe toujours des parties très difficiles à protéger passivement ; de plus, il est pratiquement impossible d'éviter des "blessures" au revêtement lors des manipulations ou du montage.

Seule l'application simultanée d'une protection passive et d'une protection cathodique garantit une protection efficace contre les effets de la corrosion électrochimique.

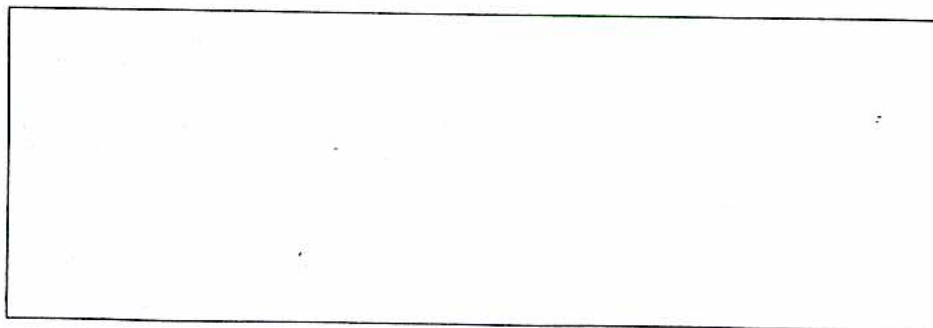




III. MESURES A PRENDRE EN CAS DE FUITE DE GAZ

En cas de dégagement de gaz, par exemple par suite de l'arrachage d'un branchement ou d'une rupture de canalisation, il y a lieu de:

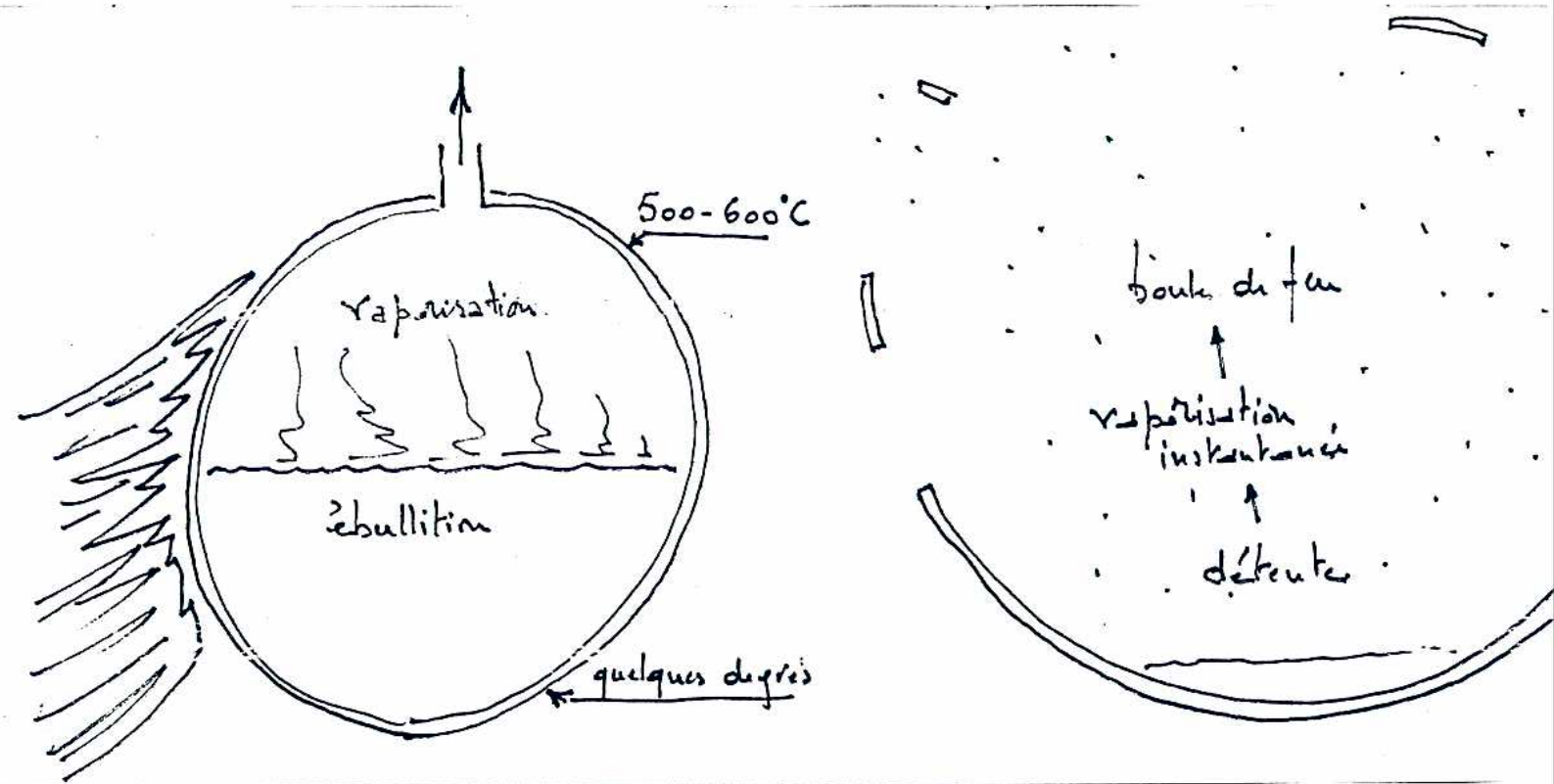
1. veiller à avvertir immédiatement l'entreprise gazière;
2. laisser le gaz se dégager à l'air libre en veillant à ce qu'il ne pénètre pas dans les immeubles; éventuellement, arracher complètement le branchement pour s'assurer que tout le gaz se dégage à l'air libre. Le jet sera dévié si nécessaire par une planche, tôle, etc. vers une direction non dangereuse. Ces précautions prises, le débit de fuite de gaz pourra éventuellement être réduit au moyen d'un chiffon, d'une broche de bois, ... Le tuyau sectionné ne peut jamais être enfoncé dans le sol;
3. éteindre toute flamme vive à proximité pour éviter que le gaz ne s'enflamme; ne pas fumer;
4. dans le cas d'une fuite de gaz enflammée, ne pas éteindre la flamme et protéger l'environnement (par exemple en aspergeant à l'eau ou en plaçant des écrans pour couper le rayonnement) pour éviter la naissance ou l'extension d'un incendie;
5. baliser les lieux et en écarter les curieux, les personnes non autorisées et le trafic;
6. surveiller les lieux de l'accident jusqu'à l'arrivée de l'équipe d'intervention de l'entreprise gazière.



BLEVE

Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion

1.
 - rayonnement d'un incendie sur une sphère
 - vaporisation liquide
 - pression monte → ouverture des soupapes de sûreté
 - soupapes ne s'ouvrent pas ou sous-dimensionnées
 - montée en pression → tension des paroi = valeur de rupture
 - éventration.
2.
 - pression reste limitée (120 %) : évacuation vapeur
 - DANGER : ↗ T ↘ tension rupture → fluage.



- paroi déchirée → détente liquide à la Pression atm.
- flashing → aérosol
- nuage → boule de feu
- projection fragments sphère → 600 m.

- à retenir :
- 1) l'ouverture des soupapes n'évite pas le BLEVE
 - 2) zone supérieure la plus exposée
 - 3) le risque ↗ avec le temps (gaz liquéfié ↘)

Annexe 1
Le phénomène de BLEVE

BLEVE est l'abréviation de l'expression anglaise Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion qui couvre l'ensemble des phénomènes qui accompagnent la rupture d'un réservoir contenant un liquide inflammable sous pression : boule de feu émettant un rayonnement thermique intense, projection des fragments du réservoir à grande distance, et, parfois, création d'une onde de surpression. Ce dernier phénomène est, en général, marginal en comparaison des effets dévastateurs des deux premiers. Le BLEVE a deux causes principales :

- 1) Lorsqu'il est soumis au rayonnement d'un incendie, le réservoir absorbe une grande quantité de chaleur qui provoque la vaporisation d'une partie du liquide qu'il contient.

Simultanément, la pression monte dans le réservoir jusqu'à l'ouverture des soupapes de sûreté. Il se peut que les soupapes soient sous-dimensionnées ou incapables de s'ouvrir (déformations induites par la chaleur par exemple).

Dans ce cas, il n'y a pas de limite à la montée en pression du réservoir et l'on conçoit aisément qu'à un moment donné, les tensions dans la paroi atteignent la valeur de rupture du matériau et qu'il y ait alors éventration.

- 2) La cause principale de rupture d'un réservoir correspond au scénario suivant. Dans la majorité des cas, les soupapes de sûreté sont capables d'évacuer le débit de vapeur engendré par le rayonnement thermique reçu par le réservoir et, par conséquent, la pression régnant dans le réservoir est limitée (120 % de la pression de tarage suivant l'API RP 520).

Le danger vient de l'élévation de température des parois qui s'accompagne d'une diminution progressive de la tension de rupture du matériau. A partir d'une certaine température, il y a apparition du phénomène de fluage, c'est-à-dire qu'une contrainte donnée induit une déformation qui s'accroît avec le temps. En pratique, avec les aciers utilisés dans la construction des réservoirs de LPG, et compte tenu des tensions admises par les codes de calcul, une paroi peut résister pendant quelques heures à une température de 500°C et seulement quelques minutes à une température de 600°C.

Dans un réservoir de LPG sous pression, une partie de la paroi est en contact avec la phase liquide et le restant avec la phase gazeuse.

Lorsque cette paroi reçoit un rayonnement thermique important, il y a ébullition du liquide, ce qui contribue à

refroidir très efficacement la portion en contact avec le liquide (l'ébullition nucléée est caractérisée par des coefficients d'échange très grands, si bien que la paroi voit sa température s'élever de quelques degrés seulement).

La paroi en contact avec le gaz est refroidie uniquement par la convection naturelle (intérieure et extérieure) et par le rayonnement. Ces mécanismes de transfert de chaleur sont beaucoup moins efficaces que l'ébullition du propane, si bien que la température de paroi peut s'élever de quelques centaines de degrés en quelques minutes. Des simulations sur ordinateurs, validées par des essais à petite échelle (réservoir de propane cylindrique de 1000 l) ont confirmé ce point de vue.

Un modèle simplifié montre que suivant l'épaisseur de la paroi du réservoir, on peut dépasser 500°C au bout de 5 à 20 minutes.

Une fois la paroi déchirée, le liquide sous pression est détendu brutalement jusqu'à la pression atmosphérique, ce qui entraîne la vaporisation instantanée d'une partie du liquide (plus de 30 % dans le cas du propane).

Simultanément, ce flashing produit un aérosol de très fines gouttelettes, qui forment un nuage en expansion rapide et l'on aboutit à une boule de feu de grande dimension et de forme approximativement hémisphérique.

On trouve dans la littérature quelques corrélations qui permettent de calculer le diamètre et la durée de la boule de feu en fonction du contenu du réservoir (nature et quantité du produit).

Parmi les différents auteurs, l'accord est bon en ce qui concerne la corrélation donnant le diamètre, mais on constate une grande dispersion dans la prévision de la durée.

Pour les hydrocarbures, nous avons adopté les relations suivantes :

$$D = 5,35 M^{0,32}$$

$$t^* = 7,863 M^{0,32} \quad (\text{pessimiste})$$

où D est le diamètre de la boule de feu (en m)

M est la masse de combustible impliqué dans la boule de feu (en kg)

t* est la durée de la boule de feu (en s)

En résumé, les deux faits saillants sont :

- en cas d'incendie à proximité d'un réservoir, l'ouverture correcte des soupapes de ce réservoir n'évite pas le BLEVE,

- la zone la plus exposée est la partie supérieure du réservoir car, paradoxalement, un gaz liquéfié bouillant est un réfrigérant très efficace des parois.

Les risques de BLEVE augmentent avec le temps, car la quantité de gaz liquéfié diminue dans le réservoir.

Annexe 2

Analyse succincte des accidents ayant dégénéré jusqu'au BLEVE

Enseignements tirés de ces accidents et appliqués aux installations de Péronnes

1) Feyzin, France, 1966

Lors d'une opération de purge d'eau sur une sphère de 1200 m³ au moyen d'un sas isolé par 2 vannes, un opérateur a commis l'erreur de laisser les 2 vannes ouvertes. Lorsque toute l'eau a été évacuée, les 2 vannes se sont bloquées ouvertes à cause de la formation de glace ou d'hydrate qui accompagne la détente du propane. Un nuage s'est formé, a dérivé et a trouvé une source d'ignition sur l'autoroute voisine. L'incendie est remonté jusqu'à la source de l'émission où une torche s'est établie.

La brigade des pompiers de la raffinerie a commencé à arroser la sphère entourée de flammes. Dès que les soupapes de sûreté se sont ouvertes, les pompiers ont cru, à tort, que la sphère en feu était protégée contre tout risque d'explosion et ont braqué leurs lances d'incendie vers les sphères voisines pour les refroidir. Au bout d'une heure et demie la sphère a explosé, la boule de feu a tué tous les pompiers aux alentours et la situation est devenue incontrôlable. L'accident a causé la mort de 18 personnes, en a blessé 81 autres et 5 sphères furent détruites.

La littérature rapporte de nombreux autres accidents qui trouvent leur cause dans la croyance que l'ouverture des soupapes protègent le réservoir et que, dès lors, celui-ci ne nécessite plus d'être arrosé.

A Péronnes, comme à Anderlues, la procédure de purge, qui consiste essentiellement à toujours garder au moins une vanne fermée, est bien comprise par les opérateurs, qui connaissent pour la plupart l'accident de Feyzin.

En cas d'incendie, l'arrosage des sphères et de la zone de dépotage est automatique et immédiat. Trois pompes sont strictement nécessaires pour l'arrosage des deux sphères et cinq sont disponibles, ce qui assure une redondance convenable.

Si le réseau électrique est défaillant, les pompes peuvent être alimentées par deux groupes électrogènes au travers de deux circuits différents. Réseau de sprinklers, pompes d'eau d'incendie et groupes diesels sont régulièrement testés.

2) Mexico-city, 1984

C'est, à ce jour, l'accident le plus dramatique impliquant du LPG (500 morts, 7000 blessés).

L'ampleur du sinistre est due à plusieurs causes :

- voisinage direct d'une agglomération surpeuplée ;
- manque d'entretien des installations ;
- absence d'un réseau d'eau d'incendie ;
- absence de système de détection de fuite ;
- explosion du nuage émis par la brèche initiale, ce qui a provoqué le déplacement des réservoirs cylindriques sur leurs berceaux, entraînant par là la rupture et l'arrachement de tuyauteries, ce qui a créé de nouvelles brèches et a rendu la situation incontrôlable.

L'explosion du nuage formé est certainement le résultat d'un degré élevé de confinement, dû au fait que les très nombreux réservoirs cylindriques de l'installation étaient très proches les uns des autres et séparés par des murets.

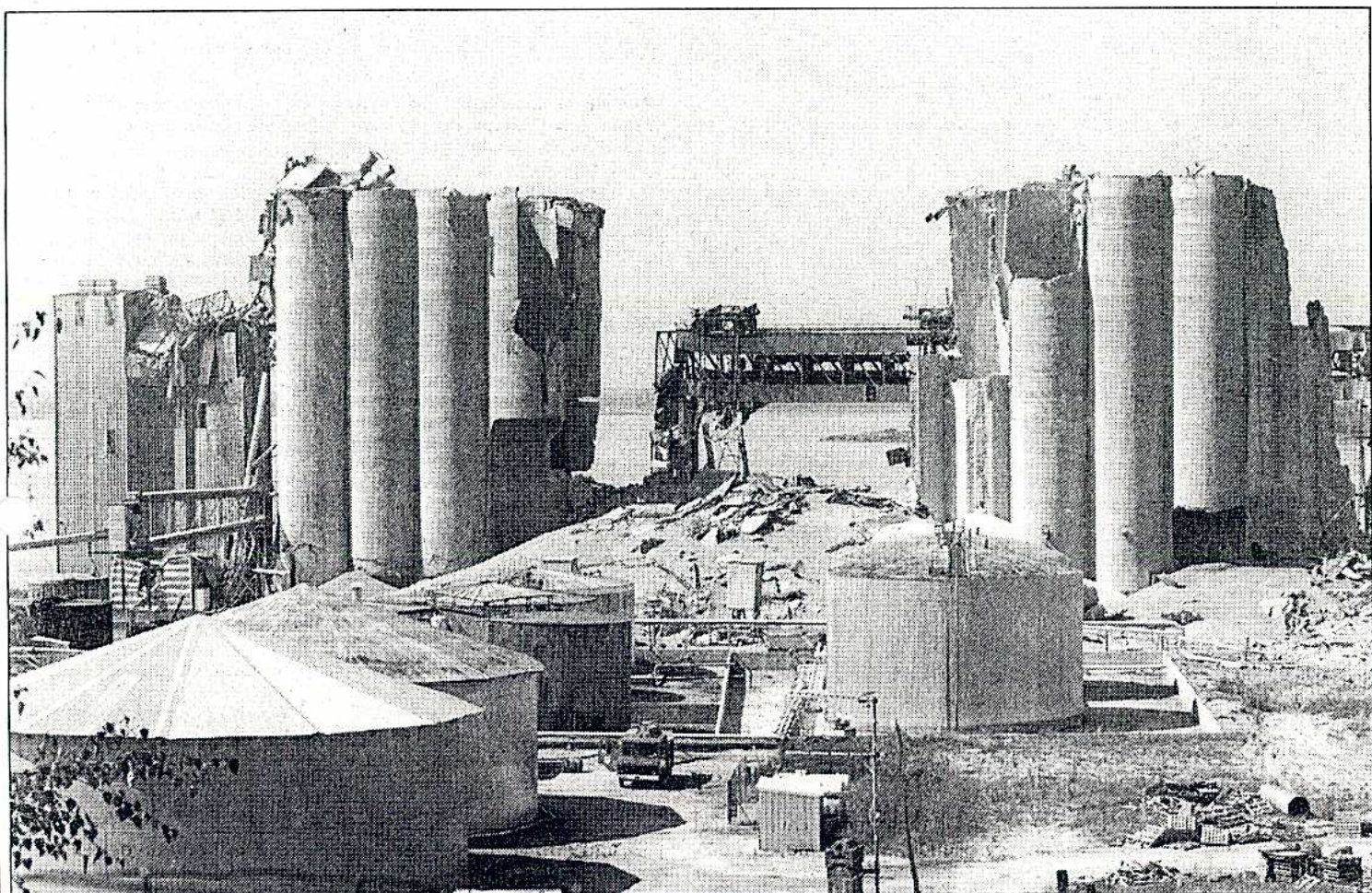
Des obstacles régulièrement espacés provoquent l'accélération du front de flamme qui parcourt un nuage allumé, d'où l'effet de surpression.

Outre un grand nombre de BLEVE's, l'accident de Mexico est caractérisé par l'éjection de nombreux projectiles à grande distance. C'est ainsi que des fragments de sphères ont été projetés jusqu'à 600 m et qu'un réservoir cylindrique de plus 20 tonnes s'est écrasé à 1200 m de son support.

A Péronnes, dès l'étude de l'installation, DISTRIGAZ a écarté le réemploi de plusieurs réservoirs cylindriques au profit de nouvelles sphères de grande capacité. Il en résulte une implantation très aérée, non confinée ce qui diminue grandement la probabilité d'explosion d'un nuage en cas d'ignition retardée.

Les habitations les plus proches sont à plus de 300 mètres des sphères et le site est essentiellement bordé par un teruil et des terres agricoles.

Les zones de stockage et de dépotage sont équipées de détecteurs de propane qui déclenchent une alarme (seuil à 20 % de la limite inférieure d'inflammation) ou une alarme, l'isolement de la station et l'arrêt de toutes les machines (seuil à 40 % de la limite inférieure d'inflammation).



Au moins 12 personnes ensevelies en France après l'explosion de silos à grain

Le corps d'une femme a été dégagé hier soir des décombres, alors que les sauveteurs cherchaient les autres personnes — douze au minimum — ensevelies sous 30.000 tonnes d'orge et de béton,

après l'explosion d'un groupe de silos à grains, dans le port de Blaye, près de Bordeaux. Lors de l'accident, dix des victimes travaillaient dans des bureaux situés au pied des silos hauts de 42 mètres.

Les deux autres personnes portées disparues sont deux chauffeurs qui venaient livrer des céréales. L'explosion a projeté d'énormes blocs de béton et libéré l'orge qui a formé un amas d'une dizaine

de mètres de hauteur. Les pompiers s'attendaient à un travail de longue haleine, sur plusieurs jours, rendu périlleux par les risques d'effondrement des murs fissurés des silos restés debout. Photo AP.

Le Soir 4.08.97 Accident 20/8

Plus d'espoir pour les ensevelis

Les sauveteurs ont pratiquement abandonné hier tout espoir de retrouver des survivants après l'explosion la veille de deux énormes silos à céréales qui ont enseveli 11 personnes, à Blaye, près de Bordeaux. Durant la nuit, les sauveteurs ont travaillé sans relâche pour tenter de dégager les victimes piégées sous 30.000 tonnes de béton, gravats et céréales. Ils ont dégagé les corps de quatre hommes et de deux femmes. En Belgique, une catastrophe similaire, survenue aux silos de Floriffoux en 1993, avait fait un mort et huit blessés. (AFP.)

Explosions de poussières et brouillards inflammables

L'inflammation de particules solides (ou gouttelettes) combustibles **en suspension** peut avoir une allure explosive.

- Si - le mélange air-poussières (ou gouttelettes) est assez intime
- les particules sont assez petites
 - la concentration en particules est suffisante.

Ex : Coup de poussières
de charbon (1906 Courrières) 1099 morts
de sucre, de chocolat, de blé, de matières colorantes artificielles
de matières plastiques
de métaux

Conséquences : des milliers de morts

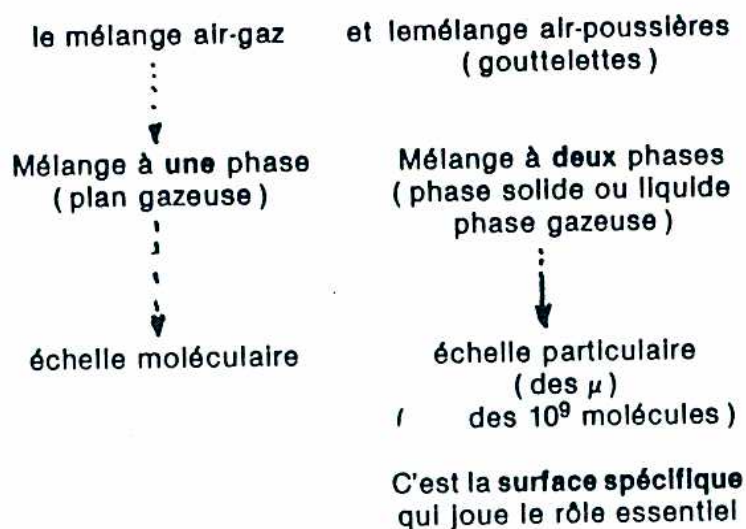
Il faut 3 conditions :

des matières combustibles
pulvérulentes
à concentration suffisante

Exemples d'accidents

- accidents au broyage de produits organiques
(broyeurs à charbon dans des centrales électriques)
- accidents au broyage du S, Al, Zn
- accidents avec un brouillard de liquide combustible même à point d'éclair > 100 °C.

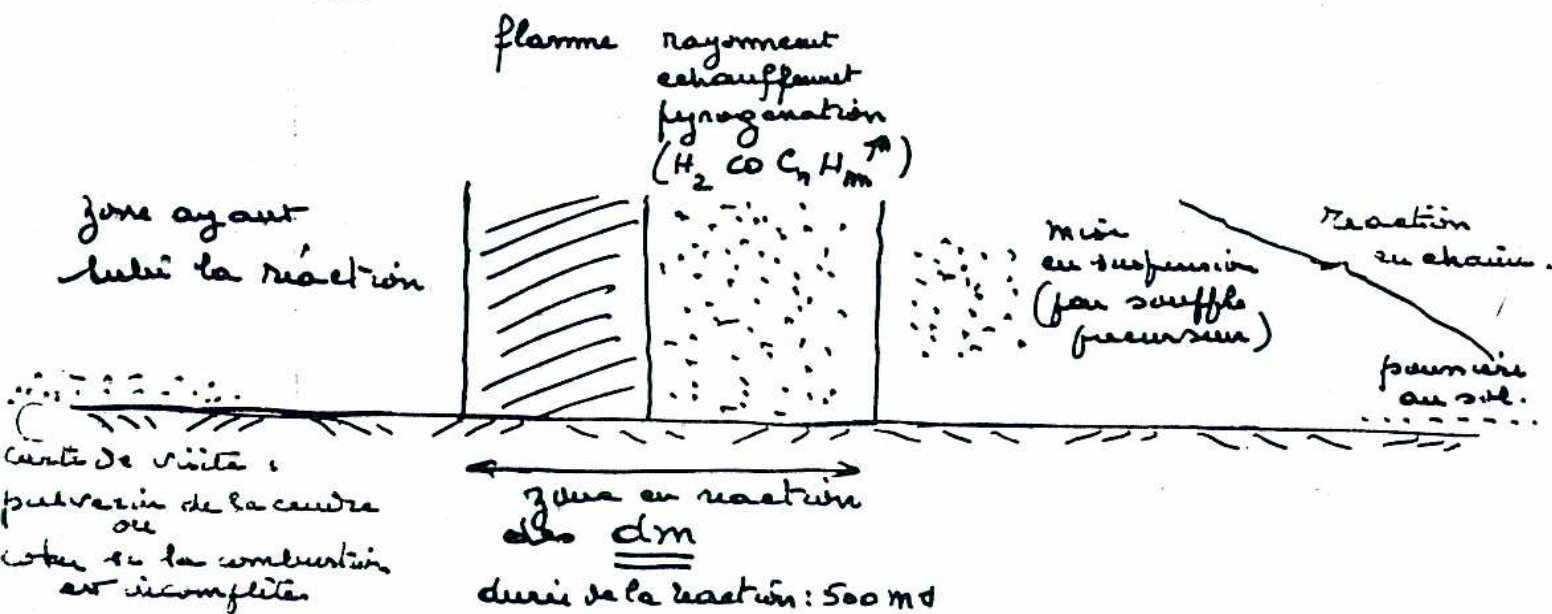
Comparaison entre



$$= \frac{\text{Surface}}{\text{masse}} \cong 1 \text{ m}^2/\text{g}$$

Mécanisme d'un coup de poussières

Matières organiques - Charbon.



Le risque $\uparrow$ { a) avec la teneur en HV (C_nH_m) des charbons
b) avec la finesse des particules
c) avec la concentration en poussières

- Poussières organiques solides

Même réaction qu'avec le charbon.

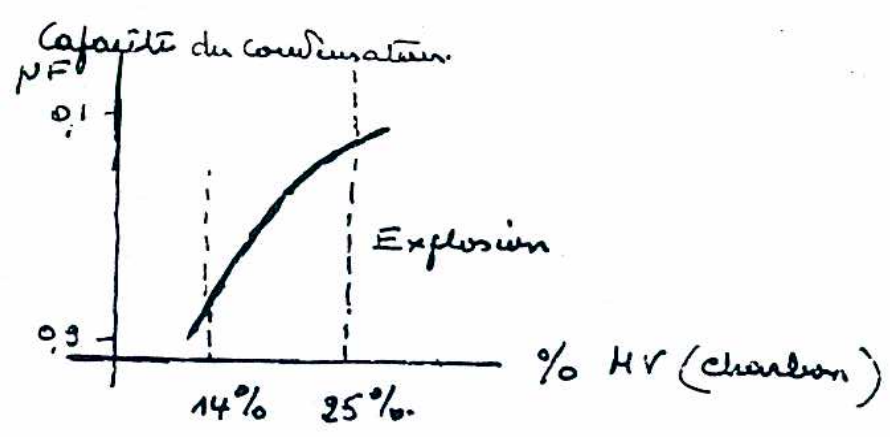
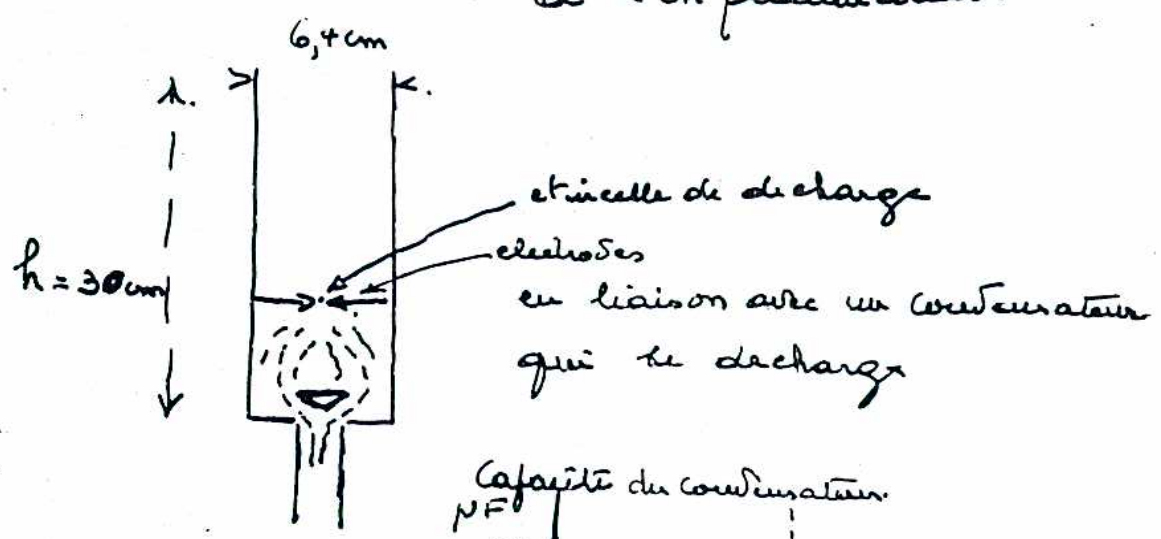
Métaux. (à point d'ébullition très élevé)

Il n'y a pas pyrolyse ici
Il n'y a pas d'émission de gaz inflammables.

Il y a oxydation très rapide
(qui laisse un résidu d'oxyde solide)

Etude expérimentale.

à l'inflammateur.



Conclusion : le risque d'inflammation augmente avec la teneur en HV du charbon

Limite Inférieure d'Inflammabilité L_i du nuage poussiéreux

L_i = la plus petite teneur en poussière avec laquelle une flamme amorcée se propage

L_i dépend - de la nature de la poussière (teneur en MV)
- de la granulométrie (L_i ↓ si la poussière est plus fine)
- de la source d'inflammation (faible ou violente)

Ex : pour le sucre $L_i \cong 40 \text{ g/m}^3$
pour le charbon $L_i \cong 50 \text{ gr/m}^3$ (épaisseur d'un papier à cigarette)

Elle varie très fort d'une expérimentation à l'autre (normalisation du test très difficile à rédiger)

Pour la sécurité

Ce n'est pas grave puisque la concentration est rarement uniforme (c'est donc moins important que pour les mélanges air-gaz).

Conclusion : se méfier de tout nuage poussiéreux inflammable.

Prévention des coups de poussières

Par l'utilisation des corps inertes
gaz Inerte

ou

matières pulvérulentes Incombustibles

S'il y a suffisamment d'inerte aucune propagation n'est possible.

Ex. : Utilisation de gaz Inerte

- pour les matières plastiques on réduit le taux d' O_2 < 10 %
- pour les métaux pulvérulents on réduit le taux d' O_2 < 5 %
- **Utilisation de matière pulvérulente** (= neutralisation)
pour l'Al neutralisation à 50 % avec silice en poudre
pour le charbon (min) neutralisation à > 80 % au $CaCO_3$

Vitesse de propagation de la flamme

La vitesse de flamme augmente très vite avec la turbulence.

Elle peut atteindre jusqu'à 1000 m/s c'est une **détonation**.

Les dégâts sont donc considérables.

Energie minimum d'inflammation

Ordre de grandeur > 20 à 100 fois celle des mélanges air-gaz.

Pour les poussières de charbon : $\cong 40$ mJ.

Lieux et causes des accidents

Lieux :

- dans des appareils de traitement de produits
- au stockage
- dans des locaux poussiéreux

Causes les plus fréquentes :

- les étincelles électriques
- les décharges d'électricité statiques
(l'électrisation des poussières étant très fréquente lors de transports pneumatiques)

Remèdes :

1. Utiliser un gaz inerte comme fluide porteur
2. Faire du transport de produits pulvérulents par « vide partiel » (c'est-à-dire aspiration en dessous de la pression atmosphérique) plutôt que sous pression d'A.C.
parce que :
 - la pression partielle d'O₂ est moindre que dans l'A.C.
 - la vitesse du courant poussiéreux est moindre
 - en cas de rupture de la ligne il n'y a pas d'expulsion de poussières.

Risques les plus élevés

Dans les fours tournants sécheurs

- où l'électrisation est élevée
- où la T $\cong 80$ °C et plus
- où les poussières sont sèches
et leur énergie d'inflammation est faible.