

Etude de cas : stockage et transport de produits pulvérulents

Roland Lodel

▶ **To cite this version:**

Roland Lodel. Etude de cas : stockage et transport de produits pulvérulents. Séminaire Euroforum "Explosions de poussières" 1997, Mar 1997, Verneuil, France. pp.98-105. ineris-00972085

HAL Id: ineris-00972085
https://ineris.hal.science/ineris-00972085

Submitted on 3 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ETUDE DE CAS : STOCKAGE ET TRANSPORT DE PRODUITS PULVERULENTS

R. LÖDEL

INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques)
Parc Technologique ALATA - B.P. n° 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

1. INTRODUCTION

Les transports et stockages en silo des produits pulvérulents font partie des opérations les plus courantes dans de nombreuses industries (agro-alimentaire, chimie, charbon, ..).

Il s'y pose des problèmes spécifiques d'incendie et d'explosion lorsque les produits mis en œuvre peuvent s'oxyder chimiquement et / ou biologiquement.

Nous allons traiter ici le cas, couramment rencontré dans l'industrie agro-alimentaire, d'une installation de stockage d'un produit pulvérulent plus ou moins chaud (l'amidon), séché par atomisation dans un courant d'air chaud, qui comprend :

- un transfert pneumatique de l'amidon d'une citerne routière vers un silo,
- un stockage en silo,
- un transfert pneumatique vers des trémies journalières.

L'étude de cas consiste à :

- comprendre dans quelles conditions des dangers peuvent apparaître et analyser les risques liés au procédé,
- prendre les meilleures mesures de prévention pour éviter l'apparition des dangers,
- proposer des moyens de protection pour réduire le potentiel de dommages en cas d'occurrence d'un incendie ou d'une explosion.

2. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS ET DU PRODUIT MIS EN ŒUVRE (CF FIGURE 1)

2.1 CITERNE ROUTIERE

- capacité : 20 m^3,
- diamètre : 2 m,
- pression de déchargement : 2 bar relatifs.

2.2 TRANSPORT PNEUMATIQUE

- longueur : 18 m,
- diamètre : 100 mm.

2.3 SILO

- volume : 110 m^3,
- diamètre : 3 m,
- hauteur : 15 m,
- pression réduite : 2 bar relatifs.

2.4 PRODUIT MIS EN OEUVRE : AMIDON DE MAIS

- granulométrie : 50 µm (valeur médiane),
- température : 70°C.

3. IDENTIFICATION DES PHENOMENES DANGEREUX ET EVALUATION DES RISQUES

L'appréciation générale des risques comprend les deux étapes suivantes :

- identifier les phénomènes dangereux à partir de la connaissance des caractéristiques d'inflammation et d'explosion du produit mis en œuvre (ici, l'amidon),
- déterminer si les conditions d'un incendie ou d'une explosion peuvent se produire.

L'amidon est un produit pulvérulent combustible qui peut s'oxyder chimiquement ou biologiquement, voire se décomposer lorsqu'il est chauffé en présence d'air, générant ainsi un risque d'incendie, lorsqu'il est en dépôt dans un silo, et d'explosion, lorsqu'il est en suspension dans l'air.

L'incendie d'un dépôt peut s'amorcer soit par auto-échauffement, en particulier lorsque le produit est stocké chaud, soit par fermentation aérobie (danger non retenu ici compte tenu de l'état de siccité de la poussière), ou encore par application d'une source extérieure d'inflammation (étincelle, point chaud, etc).

L'inflammation du dépôt entraînera alors une combustion avec ou sans flamme. La combustion sans flamme (incandescence) peut éventuellement dégénérer en combustion avec flammes en fonction des conditions locales de ventilation et de diffusion d'air.

Lorsque des gaz inflammables sont générés (par pyrolyse ou par combustion partielle), le risque d'explosion de gaz est également à considérer.

Un dépôt d'amidon en feu peut également provoquer une explosion de poussières lorsqu'il est mis en suspension. Bien sûr un nuage d'amidon pulvérulent peut aussi être directement enflammé par une source d'inflammation, par exemple au moment de l'opération de transport pneumatique ou lors d'opérations de maintenance.

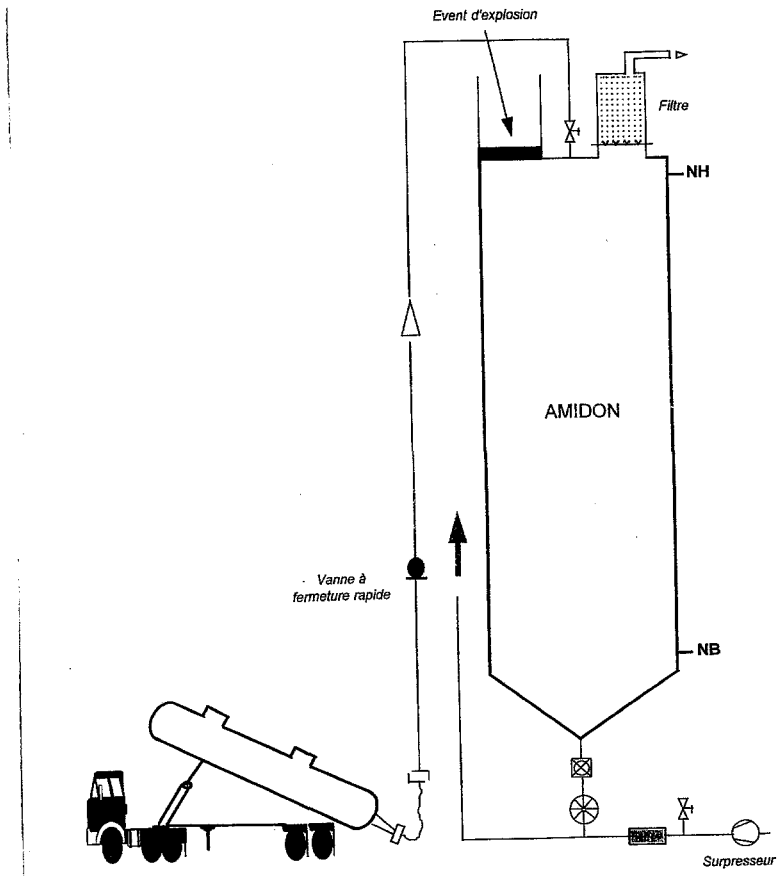


Figure 1

L'inflammation et la propagation de la combustion ne sont possibles que lorsque sont réunies en un même endroit les conditions suivantes :

- poussières d'amidon en dépôt,
- oxygène en quantité suffisante,
- source d'inflammation d'énergie suffisante.

Pour qu'une explosion survienne, il faut en plus que :

- la poussière soit suffisamment fine (inférieure à 300 µm), ce qui est le cas ici,
- la concentration de poussières en suspension soit dans les limites d'explosivité,
- le lieu de l'explosion soit confiné.

En conclusion (cf figure 2), trois types de risque sont à prendre en compte :

- incendie du stockage,
- explosion de poussières,
- explosion de gaz.

4. EVALUATION DES CARACTERISTIQUES DE SECURITE DE L'AMIDON

En général, les caractéristiques d'inflammabilité et d'explosivité doivent être définies conjointement entre un laboratoire d'essai et l'industriel en fonction des équipements mis en œuvre (ici, les propriétés mécaniques, électriques, électrostatiques, thermiques des silos et des appareils annexes tels que le filtre à manches), des conditions opératoires, de la température du produit et des mesures de sécurité à mettre en place pour prévenir les incendies et les explosions ou pour limiter leurs effets.

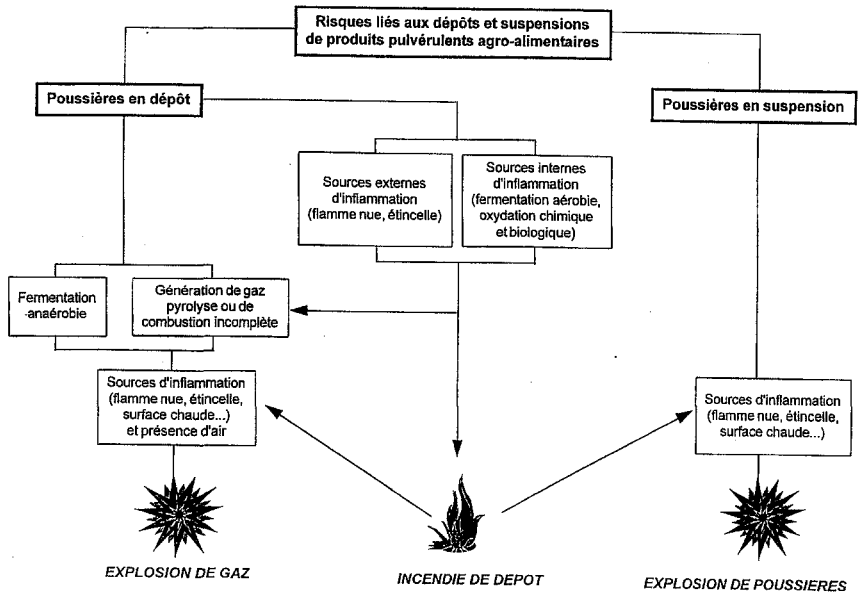


Figure 2

Dans le cas étudié ici, il faut connaître les caractéristiques énumérées ci-dessous :

Grandeur à connaître	**Caractéristiques de l'amidon**	**Mesures de prévention et de protection**
Concentration minimale explosive	50 g/m^3	limitation de la concentration de poussières
Auto-inflammabilité	167°C pour un volume de 1000 cm^3	élimination des sources d'inflammation
Energie minimale d'inflammation	30 mJ	élimination des sources d'inflammation
Résistivité volumique	10^{13} Ω.m	élimination des sources d'inflammation
Température d'auto-inflammation	470°C	élimination des sources d'inflammation
Concentration limite d'oxygène	10 %	inertage
Pression maximale d'explosion	8 bar relatifs	construction résistant à la pression maximale d'explosion
K_{St}	110 bar.m.s^{-1}	calcul des surfaces d'évents

Ces essais ont été effectués à l'INERIS sur un échantillon d'amidon, selon des normes CEI, ISO ou des procédures internes.

5. PREVENTION DES INCENDIES ET DES EXPLOSIONS

La nécessité de la concomitance entre un dépôt de produit pulvérulent ou une atmosphère explosive (poussières ou gaz) et la présence d'une source d'inflammation efficace entraînera immédiatement deux principes de base de la prévention :

- éviter les atmosphères explosives et les dépôts combustibles. Cet objectif peut être atteint soit en changeant la concentration de la substance combustible pour lui donner une valeur hors du domaine d'explosivité, soit en diminuant la concentration d'oxygène (par inertage ou en limitant la diffusion de l'air dans le silo) pour lui donner une valeur inférieure à la concentration limite d'oxygène.
  Ces mesures sont difficilement applicables dans le cas présent :
  - transfert pneumatique en milieu dense mais atmosphère explosible non contrôlable dans le silo,
  - inertage de prévention très coûteux dans un silo de grande capacité,
  - contrôle difficile des entrées d'air (notamment par le dispositif de fluidisation),
- éviter toute source d'inflammation active.
  Dans le cas qui nous concerne, les sources d'inflammation suivantes doivent être considérées :
  - étincelles d'origine électrostatique,
  - auto-inflammation,
  - matériel électrique,
  - surfaces chaudes.

5.1 ETINCELLES D'ORIGINE ELECTROSTATIQUE

L'enchaînement des phénomènes qui permet de conduire à une explosion de poussières d'amidon par décharge d'origine électrostatique est décrit sur la figure 3.

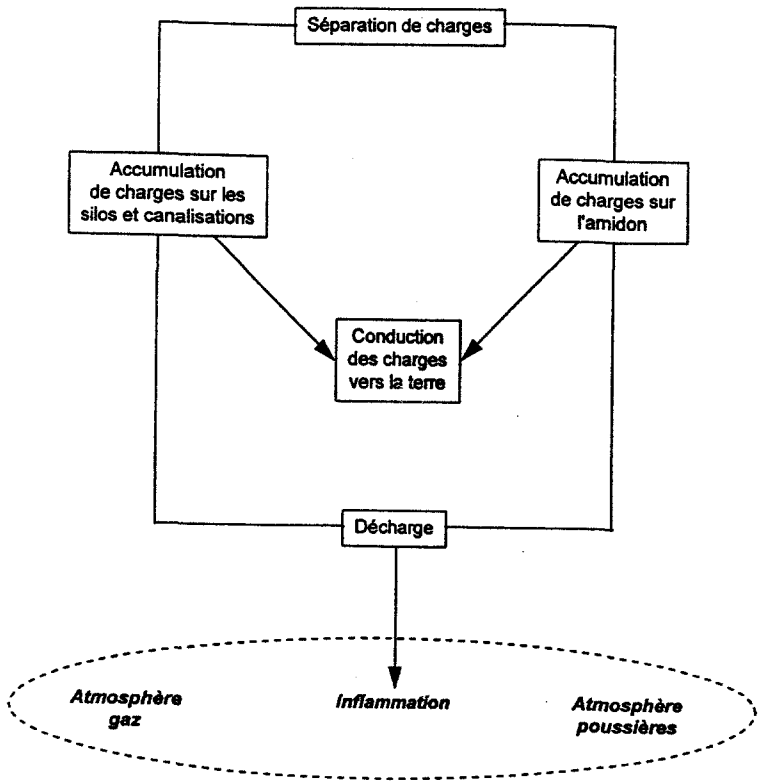


Figure 3 : risque de décharge d'origine électrostatique

Accumulation de charge

Le niveau de charge électrostatique que peut accumuler l'amidon dépend de nombreux paramètres tels que le type de transfert auquel il est soumis, sa granulométrie, la nature des matériaux constitutifs du silo. Il peut atteindre 10^{-6} à 10^{-4} C/kg dans un transport pneumatique, ce qui est 1000 fois plus important que le niveau atteint par exemple par un simple déversement.

Conduction des charges vers la terre

Les charges électrostatiques retenues par l'amidon s'évacuent lorsque ces dernières sont en contact avec les parois métalliques d'un silo relié à la terre, avec une constante de temps τ (temps nécessaire aux poussières pour perdre 63 % de leur charge initiale), liée à la résistivité volumique de la poussière d'amidon (ρ) : $\tau = 10^{-11} . \rho$.

La résistivité électrique de l'amidon très sec est de l'ordre de 10^{13} Ω.m. La constante de temps est donc de 100 s. Les charges électriques ont donc tendance à rester longtemps dans le silo.

Risques électrostatiques présentés par les poussières d'amidon

Les risques électrostatiques présentés par les poussières proviennent :

- de l'accumulation des charges électrostatiques sur les poussières d'amidon elles-mêmes,
- de l'accumulation des charges transférées aux surfaces métalliques, lorsqu'elles sont isolées, ou aux surfaces isolantes (par exemple des manches filtrantes non suffisamment conductrices).

Dans le mécanisme de l'inflammation, la décharge disruptive issue de l'accumulation de charges statiques permet l'amorçage de la suspension des poussières d'amidon. De plus, il est nécessaire que les autres conditions d'inflammation soient satisfaites et que l'énergie libérée dans la charge disruptive soit supérieure à l'énergie minimale d'inflammation du nuage de poussières combustibles considérées (ici, 30 mJ).

Par ordre d'importance croissante en ce qui concerne le danger d'explosion, les décharges disruptives à considérer sont les suivantes :

1. ***décharge en aigrette*** : il s'agit de décharge d'une surface isolante non homogène dans le temps et l'espace. Leur énergie équivalente ne dépasse pas 3 à 5 mJ.
   Conclusion : il n'y a pas de risque d'inflammation de l'amidon.

2. ***décharge de surface de pulvérulent*** (cône discharge) : ces décharges peuvent en première approximation être assimilées à des décharges en aigrette, mais du fait du tassement des poussières d'amidon chargées et de la forme du tas des décharges plus énergétiques peuvent être obtenues. L'énergie de ce type de décharge est liée à la granulométrie et au diamètre du silo (cf figure 4). Pour des poussières d'amidon de 50 µm, l'énergie équivalente, dans un silo de 3 mètres de diamètre, est inférieure à 10 mJ.
   Conclusion : il n'y a pas de risque d'inflammation de l'amidon.

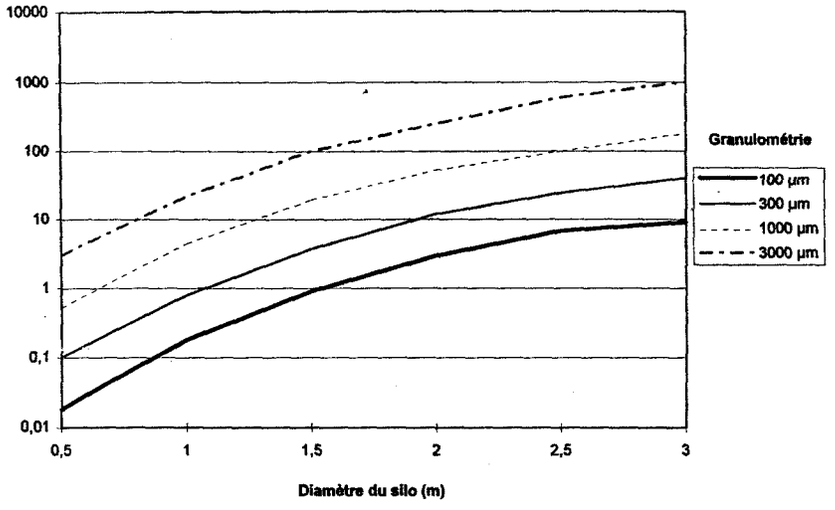


Figure 4 : énergie équivalente de décharges de cônes de déversement (mJ)
Source : VDI Berichte 1272. Sicheres Befüllen von Silos und Behältern unter Berücksichtigung von Schüttkegelentladungen. M. Glor, B. Maurer). 1996

3. ***décharge de Lichtenberg*** (ou "propagating brush discharges") : il s'agit d'une décharge en surface d'une paroi isolante recouvrant une surface conductrice reliée à la terre, mettant en jeu des densités de charges électriques importantes (supérieures à 27 $\mu C/cm^2$). Les énergies équivalentes peuvent dépasser 1 000 mJ. *Conclusion : ce risque est à considérer. Il faut absolument éviter cette configuration (par exemple, silo ou canalisation du transport pneumatique revêtus d'une couche de peinture).*

4. ***étincelle*** : il y a formation, dans l'espace, d'un canal conducteur, par lequel s'écoule simultanément l'ensemble des charges électrostatiques (décharge d'une surface conductrice). Les énergies de décharge sont souvent très élevées (> 1000 mJ). *Conclusion : ce risque est à considérer. Il faut absolument réaliser une mise à la terre efficace et l'équipotentialité de l'ensemble des parties métalliques.*

5.2 AUTO-INFLAMMATION DU STOCKAGE

Le mécanisme d'auto-inflammation peut provenir dans ce cas d'une double oxydation : chimique et biologique (fermentation).

La fermentation aérobie nécessite un taux d'humidité élevé, ce qui n'est pas le cas ici de l'amidon stocké chaud et préalablement séché. Ce risque est donc exclu.

Seul le risque d'auto-inflammation par oxydation chimique doit être retenu.

Mécanismes

Qualitativement, l'explication du phénomène est la suivante.

Lorsque les conditions de stockage de l'amidon sont telles que toute la chaleur dégagée par les réactions d'oxydation n'est pas intégralement dissipée par les échanges thermiques entre le système réactionnel et le milieu extérieur, il se produit une élévation de température. Celle-ci augmente la vitesse des réactions d'oxydation et, par conséquent aussi, celle de dégagement de chaleur. Ce mécanisme conduit à l'emballement de

l'auto-échauffement de la substance combustible et à sa combustion vive dans la mesure où les réactions d'oxydation ne sont pas freinées par défaut d'oxygène.

La vitesse d'oxydation va dépendre de :

- l'oxyréactivité de la substance (nature, humidité, etc),
- sa granulométrie qui conditionne la surface accessible à l'oxygène,
- la température de stockage (la vitesse d'oxydation double environ tous les dix degrés Celsius),
- la pression partielle d'oxygène.

Les échanges de chaleur tant à l'intérieur du tas qu'entre le tas et l'extérieur, sont régis par les conditions de stockage. Les risques d'auto-inflammation sont d'autant plus élevés que la dimension du stockage est importante.

Au niveau des mécanismes d'auto-échauffement, la température n'augmente à l'intérieur du stockage que si la chaleur produite est supérieure à la chaleur que l'on peut dissiper dans les conditions établies. On définit :

- la température d'auto-inflammation TAI pour un produit donné (ici l'amidon) et un volume donné, comme la température la plus basse pour laquelle les phénomènes d'auto-échauffement conduisent à l'emballement de l'oxydation et à un niveau de température incompatible avec l'intégrité physique du produit,
- la dimension D caractéristique, comme la distance minimale du centre du stockage à un de ses bords. Par exemple, dans un silo à base circulaire, la dimension caractéristique du silo correspond au rayon,
- la dimension D_C du stockage à une température initiale donnée, comme la dimension la plus faible pour laquelle les phénomènes d'auto-échauffement conduisent à une inflammation du produit.

La figure 5 permet d'expliquer les notions de température et de dimension critique, les équilibres ou déséquilibres thermiques dans un stockage de matériaux pulvérulents et oxydables.

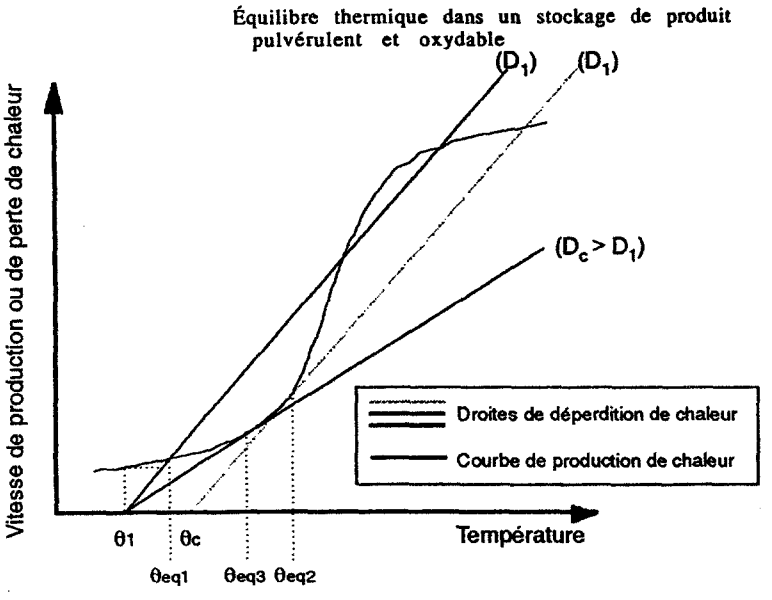


Figure 5 : mécanisme de l'auto-échauffement

Lorsque le produit est situé dans un stockage de dimension D_1 à une température initiale θ_1, en raison de la production de chaleur liée à l'auto-échauffement, sa température augmentera jusqu'à la température $\theta_{éq1}$ où les échanges thermiques avec l'extérieur équilibrent la production de chaleur ; cet équilibre est stable comme on peut le voir sur la figure 5. Dans ce cas, la réaction d'oxydation exothermique ne s'emballera pas.

En revanche, pour ce même stockage, on voit très bien que si la température initiale augmente jusqu'à θ_C, le point de rencontre entre la courbe de production de chaleur et celle de dissipation correspond à un équilibre instable $\theta_{éq2}$: la température du stockage a toutes les chances de monter assez haut avant d'atteindre un hypothétique deuxième point d'équilibre. Le stockage risque alors fortement de subir un emballement de la réaction d'auto-oxydation. La température initiale θ_C est donc appelée température critique d'auto-inflammation (TAI) d'un produit donné. Au-delà de cette température, le matériau s'auto-enflamme.

Pour une température initiale θ_1, on peut également arriver à l'auto-échauffement si l'on change la dimension caractéristique du stockage. En effet, dans ce cas, la pente de la droite de dissipation de chaleur diminue et le point d'équilibre stable $\theta_{éq1}$ précédent devient $\theta_{éq3}$ qui est instable. On définit ainsi la dimension critique d'un stockage pour un produit donné, à une température donnée.

Evaluation expérimentale

Pour identifier, caractériser et extrapoler les dangers liés aux dépôts et stockages des matériaux pulvérulents, la procédure développée par l'INERIS comprend les étapes suivantes :

- l'analyse thermique différentielle et thermogravimétrique qui permet de classer les produits pulvérulents, quant au risque d'auto-inflammation de leur dépôt, en produits hautement, moyennement ou faiblement réactifs,
- l'essai en étuve isotherme, à partir d'échantillons représentatifs, qui permet d'établir une relation entre les paramètres température, dimension et forme du dépôt à partir de modèles mathématiques (Kamenetskii, Thomas) et ainsi d'extrapoler les résultats de laboratoire aux situations industrielles,
- la calorimétrie adiabatique sous air qui permet de déterminer le temps minimum nécessaire pour amorcer l'auto-inflammation.

Nous décrivons ici les résultats obtenus lors des essais de stockage d'un échantillon d'amidon en étuves isothermes.

Les températures critiques en fonction du volume sont les suivantes :

Volume (cm^3)	8	120	340	1000
Demi-arête (cm)	1	2,5	3,5	5
Température critique (°C)				
Amidon de maïs	207	172	162	157

Les résultats obtenus peuvent être ajustés à une relation mathématique basée sur une théorie d'auto-échauffement pour des dimensions plus importantes et de formes

différentes que celles étudiées expérimentalement. L'équation représentative est de la forme :

$$\log (\delta T^2 / r^2) = M - N / T$$

avec : δ facteur de forme (=2 pour un cylindre),

T température ambiante (°K),

r dimension caractéristique du volume de stockage (distance représentative de la zone la plus isolée thermiquement), ici, le rayon,

M et N constantes dépendantes des propriétés physico-chimiques de la poussière. Ces valeurs sont déterminées à partir de l'ajustement linéaire aux résultats expérimentaux par la méthode des moindres carrés.

La figure 6 schématise la loi d'extrapolation ainsi que l'ensemble des points expérimentaux pour cet échantillon d'amidon.

Pour une température de stockage donnée, cette courbe fixe la dimension critique au-dessus de laquelle il y a un risque d'auto-échauffement.

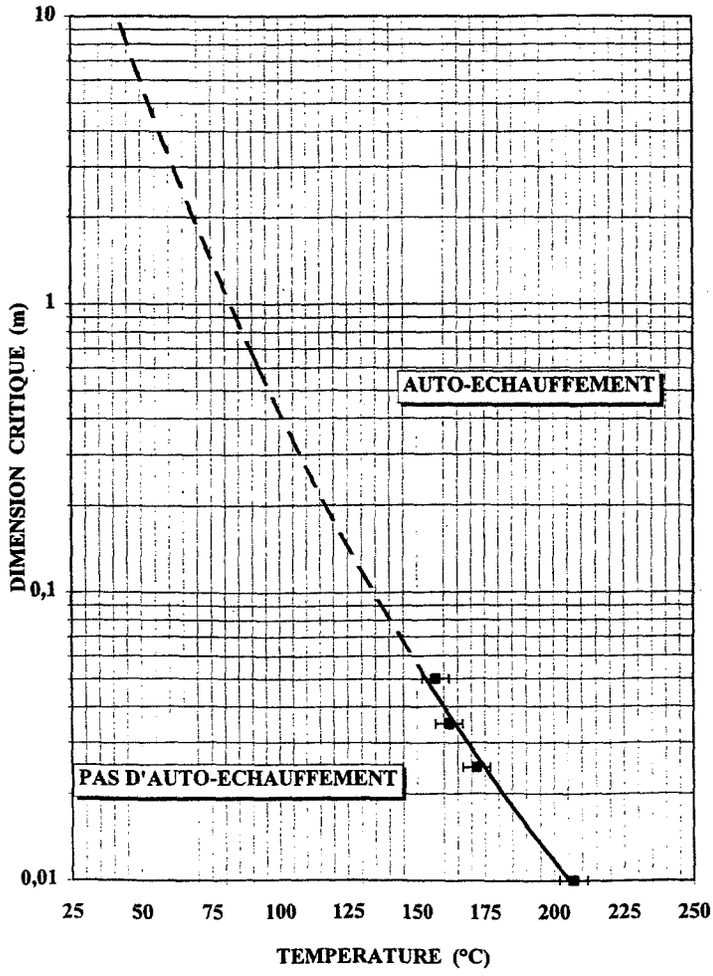


Figure 6 : extrapolation de la dimension critique en fonction de la température stockage d'amidon

On constate qu'à 70°C, la taille critique à ne pas dépasser est de l'ordre de 2 mètres (rayon du silo).

Compte tenu de la taille du silo (1,5 mètres de rayon), la température critique d'auto-inflammation (75°C) est très voisine de la température de stockage (70°C). Des mesures de prévention et de protection doivent donc être mises en place :

- contrôle des entrées d'air parasite, notamment par le dispositif de fluidisation lorsque le silo est à l'arrêt,
- mise en place de sondes de température dans les zones les plus propices au démarrage de l'auto-échauffement,
- éventuellement, surveillance des gaz que l'amidon est susceptible de dégager au cours de son oxydation par l'air (CO, CO_2).

5.3 AUTRES SOURCES D'INFLAMMATION - CLASSIFICATION EN ZONES

Deux autres sources d'inflammation, bien que plus rares dans le cas d'un stockage, sont :

- les surfaces chaudes,
- les étincelles d'origine électrique.

Les réglementations demandent de plus en plus à l'exploitant, lorsqu'il y a possibilité d'occurrence d'atmosphères explosibles, d'établir une classification en zones à risque en fonction de la probabilité d'apparition et des conditions de formation de ces atmosphères.

En ce qui concernent les poussières, il conviendrait de prendre en compte la classification qui sera donnée dans la Directive 118A :

- zone 20 : région dans laquelle une atmosphère explosive sous la forme d'un nuage de poussières inflammables dans l'air est présente en permanence, ou pendant de longues périodes ou fréquemment,
- zone 21 : région dans laquelle il est probable qu'une atmosphère explosive sous la forme d'un nuage de poussières inflammables dans l'air apparaîtra en service normal,
- zone 22 : région dans laquelle il n'est pas probable qu'une atmosphère explosive sous la forme d'un nuage de poussières inflammables dans l'air apparaisse en service normal, et où, si elle apparaît, il est probable que ce soit seulement de façon peu fréquente et qu'elle n'existera que pour une courte période.

Le matériel n'est pas une source d'inflammation si sa température maximale de surface en contact avec les poussières ne dépasse pas la plus petite des deux valeurs suivantes :

- les 2/3 de la température d'auto-inflammation d'un nuage de poussières,
- la température d'inflammation d'une couche de 5 mm - 75°C.

De plus, il faut assurer un certain degré de protection (étanchéité aux poussières) des matériels électriques. Un projet de norme CENELEC propose, quand les poussières sont conductrices, un degré de protection IP 6X pour la zone 22. Ce degré de protection est ramené à IP 5X quand les poussières ne sont pas conductrices., Pour les zones 20 et 21, ce projet propose de retenir le degré de protection IP 6X. Des exigences spécifiques sont également prévues pour la zone 20.

6. PROTECTION EN CAS D'INCENDIE OU D'EXPLOSION

6.1 PROTECTION VIS-A-VIS DE L'EXPLOSION

L'explosion d'un nuage de poussières d'amidon dans une enceinte complètement confinée peut conduire à une surpression maximale de 8 bar.

Pour abaisser la surpression d'explosion dans le silo, qui ne peut supporter que 2 bar, il faut installer des orifices de décharge.

A noter que la mise en place de dispositifs de suppression d'explosion est également envisageable.

Les dimensions de ces orifices dépendent :

- de la surpression supportable par le silo (Préd),
- de la vitesse maximale de montée en pression (VMP ou K_{St}),
- de pression maximale d'explosion (Pmax),
- du volume du silo (V),
- de la présence ou non d'une canalisation prolongeant l'évent de décharge,
- de la forme géométrique de l'appareil (hauteur / diamètre),
- de la nature du nuage de poussières généré (homogène ou hétérogène).

Les calculs de surface d'évent ont été effectués ici selon :

- la norme expérimentale NFU 54 540,
- les recommandations allemandes VDI 3673 de 1995.

Les résultats obtenus sont les suivants :

- volume : 100 m^3,
- hauteur / diamètre : 5,
- Préduite : 2 bar relatifs,
- Pstatique d'ouverture des évents : 0,1 bar relatif,
- Pmax : 8 bar relatifs,
- K_{St} : 110 $bar.m.s^{-1}$,

surface d'évent selon NFU 54 540 : 0,87 m^2,
surface d'évent selon VDI 3673 : 0,62 m^2.

La figure 7 donne un exemple d'abaque de calcul disponible dans la norme expérimentale NFU 54 540.

A noter que la recommandation VDI considère deux types de nuages de poussières :

- nuage hétérogène dans le cas d'un remplissage par transport pneumatique,
- nuage homogène dans les autres configurations de remplissage.

Dans la recommandation VDI, sont également publiées des formules de calcul pour évaluer :

- la longueur des flammes générées par l'explosion,
- les pressions générées à l'extérieur du silo suite à une explosion,
- la force de réaction transmise aux structures du silo.

Dans le cas du silo de stockage d'amidon, on obtient :

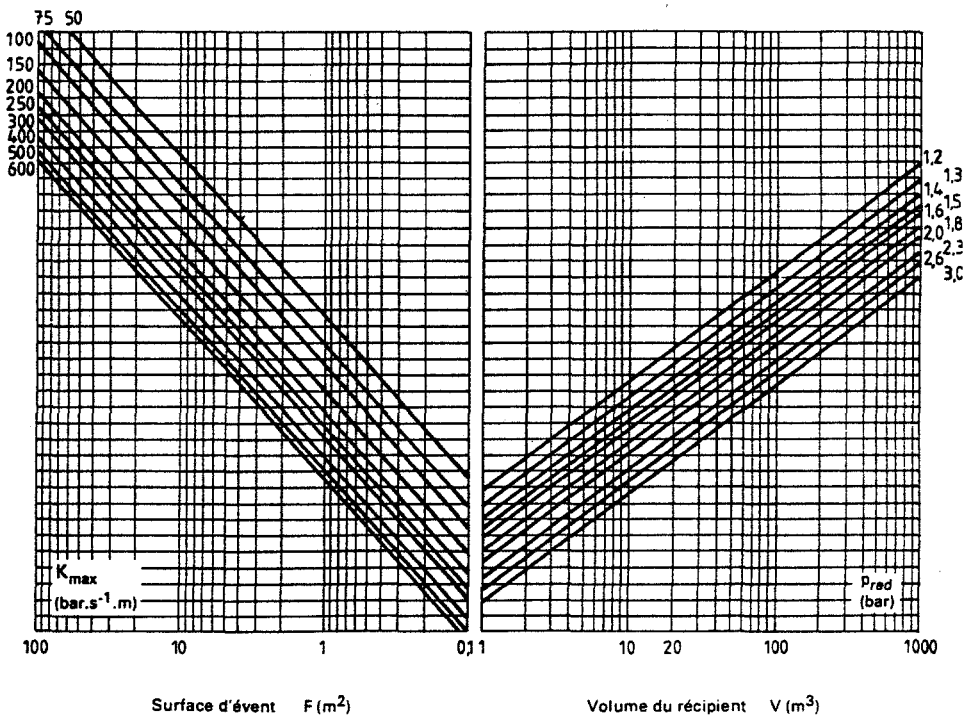
- longueur de flamme = 32 m,
- pression maximale à 8 m = 874 mbar,
- pression maximale à 30 m = 119 mbar,
- force de réaction = 147 kN.

6.2 ISOLEMENT DU SILO

Le silo étant relié, via des transports pneumatiques, à la citerne routière d'un côté et aux installations situées en aval du stockage de l'autre, on a intérêt à limiter l'explosion à l'enceinte dans laquelle elle s'est produite ; en effet, au fur et à mesure de la propagation, on peut obtenir des renforcements de la violence de l'explosion.

Pour éviter la propagation de l'explosion, on peut installer, sur la canalisation de transport pneumatique entre la citerne routière et le silo, soit un arrêt barrage commandé par des détecteurs de pression placés dans le silo, soit un dispositif à fermeture autonome, tel que la vanne "Ventex", placée dans la canalisation et qui obstrue la section complète de celle-ci. En cas d'explosion, la surpression appliquée d'un côté ou de l'autre de la vanne, déclenche la fermeture.

Sur une canalisation de diamètre 100 mm, il faudra respecter une distance d'implantation du dispositif d'isolement par rapport au point de raccord au silo, comprise entre 5 et 12,5 mètres.



Abaque, rapporté aux valeurs K_{max}
(p_{stat} = 1,1 bar)

Note : les pressions indiquées sont des pressions absolues.

Figure 7

6.3 PROTECTION CONTRE L'INCENDIE

En cas d'incendie (suite à une détection tardive), il faudra intervenir très rapidement en utilisant le moyen d'extinction le plus efficace et en mettant en œuvre les quantités adaptées pour étouffer le feu ainsi qu'une stratégie d'intervention adéquate.

Pour le cas d'un silo de produit pulvérulent, seule l'injection prolongée d'un gaz inerte (N_2 ou CO_2), permettant de balayer l'ensemble de la masse auto-échauffée ou en combustion, est véritablement efficace.

Le gaz inerte devra d'abord être injecté dans le ciel du silo, ce qui permet d'y éviter les explosions. L'injection doit être régulière pour éviter de mettre en suspension des poussières d'amidon. La quantité minimale de gaz inerte à prévoir pour se mettre hors explosion est de 2 kg CO_2 / m^3 ou 1 kg N_2 / m^3.

On injectera seulement ensuite le gaz à la base du silo pour lutter contre le feu. Le point d'injection doit se situer à environ 1 à 1,5 mètres au-dessus du dispositif d'extraction, la hauteur de produit faisant office de bouchon (vis-à-vis des entrées d'air et des sorties de gaz inerte).

La vidange du silo ne peut se faire que si la température est descendue en dessous de 150°C.

7. CONCLUSION

Une méthodologie générale d'approche pour la gestion des risques liés au stockage d'un produit pulvérulent donné, basée sur des essais de laboratoire, a permis de proposer un ensemble de mesures de prévention, qui évitent l'apparition des dangers d'incendie et d'explosion.

D'autres essais ont été retenus pour optimiser les moyens de protection contre une explosion de poussières et de lutte contre un incendie de stockage.

La méthodologie s'appuie également sur des modèles de calculs qui permettent l'extrapolation à une situation industrielle.

Cette démarche générale appliquée lors de la conception ou lors de l'exploitation d'une installation de stockage peut également être mise en œuvre pour des unités de broyage, de séchage, de mélange, de filtration ou de manutention.