

**PHENOMENES DANGEREUX**  
-  
**Conditions d'apparitions et effets**

SOMMAIRE

<b>I. L'INCENDIE .....</b>	<b>3</b>
I.1 LES CAUSES .....	3
I.2 LES CONSEQUENCES.....	4
I.3 SEUILS CRITIQUES RETENUS.....	7
<b>II. L'EXPLOSION.....</b>	<b>8</b>
II.1 LES CAUSES .....	8
II.2 LES CONSEQUENCES .....	10
II.3 SEUILS CRITIQUES RETENUS.....	13
<b>III. L'AUTO-ECHAUFFEMENT .....</b>	<b>14</b>
III.1 LES CAUSES.....	14
III.2 LES CONSEQUENCES .....	15
<b>IV. LA FERMENTATION .....</b>	<b>16</b>
IV.1 LES CAUSES.....	16
IV.2 LES CONSEQUENCES .....	17
<b>V. LA POLLUTION ACCIDENTELLE .....</b>	<b>19</b>
V.1 DEVERSEMENTS ACCIDENTELS .....	19
V.2 EMISSIONS ATMOSPHERIQUES .....	19
V.3 SEUILS CRITIQUES RETENUS.....	20

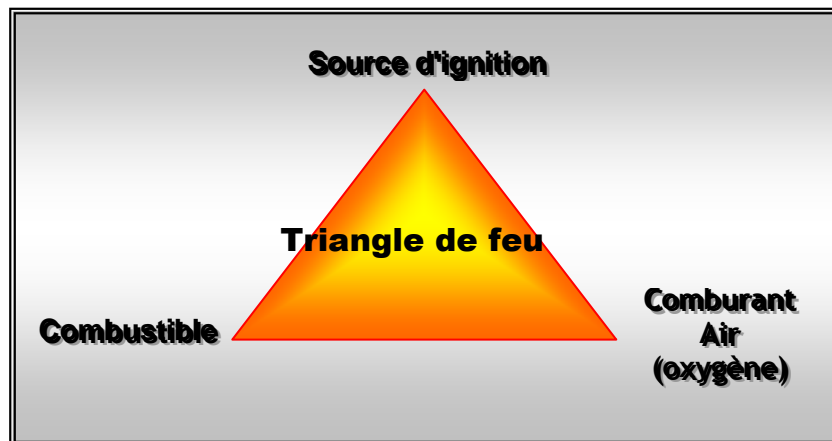
## **I. L'INCENDIE**

### **I.1 LES CAUSES**

Pour qu'il y ait **incendie**, il faut qu'en un même lieu et en un même temps, soient réunis :

- 1) Une source d'ignition ou une élévation de température,**
- 2) Un comburant (l'oxygène étant le plus courant),**
- 3) Un combustible.**

Ce principe est souvent représenté sous la forme du **Triangle de feu**.



### Sources d'ignition ou d'élévation de température

Origine	Sources d'ignition
<b>Electrique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ un court-circuit,</li> <li>✓ une surcharge de tension,</li> <li>✓ un défaut d'isolement,</li> <li>✓ l'électricité statique,</li> <li>✓ un échauffement sur un moteur, un coffret à alimentation électrique,</li> <li>✓ l'utilisation de matériels électriques inappropriés aux atmosphères de poussières/gaz explosibles,</li> <li>✓ la chute de la foudre, qui provoquerait un court-circuit si elle rencontrait des circuits électriques en regagnant la terre et le sol.</li> </ul>
<b>Humaine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ aux opérations de maintenance pouvant provoquer des échauffements d'origine électrique (soudage) ou mécanique (meulage),</li> <li>✓ au non-respect des procédures d'exploitation et des consignes de sécurité.</li> <li>✓ à la négligence (présence de flamme nue, cigarettes...),</li> <li>✓ à la malveillance.</li> </ul>
<b>Mécanique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ à des frictions ou chocs liés à la présence de corps étrangers ou à la casse d'équipements,</li> <li>✓ à des échauffements survenant au niveau des organes mécaniques en rotation,</li> <li>✓ à un défaut de lubrification</li> </ul>
<b>Exogène</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Foudre</li> <li>✓ Equipements à risque en communication</li> </ul>

### Comburant

L'oxygène est un comburant puissant qui active la combustion de certains matériaux. Il est essentiellement présent dans l'air.

### Combustible

Suivant les activités de l'Etablissement, différents combustibles peuvent être présents sur un site :

- ➡ Des liquides inflammables (fioul, essence, alcool, ...).
- ➡ Des matières solides combustibles (bois, sucre, charbon, produits conditionnés, coke, ....).
- ➡ Des gaz (propane, acétylène, ...).

## I.2 LES CONSEQUENCES

Les conséquences d'un incendie sont :

- **La production de flammes,**
- **Le dégagement de fumées,**
- **L'émission de flux thermiques,**
- **La production d'eaux d'extinction.**

Les flux thermiques dégagés par la combustion de matières peuvent engendrer à la fois :

- ➡ Des brûlures « graves » pour les personnes,
- ➡ Des effets sur les structures pouvant conduire à l'effondrement de constructions.

### Effets sur les structures :

Dans le cas des incendies, les conséquences du rayonnement thermique sont importantes, en raison :

- **des flux thermiques élevés d'une part,**
- **et des durées d'exposition longues d'autre part.**

Toutes les structures subissent des modifications dès l'instant où l'intensité du flux thermique est assez conséquente ( $8 \text{ kW/m}^2$ ) qui vont se traduire par des déformations, suivies par un effondrement si un seuil critique est dépassé.

Dans certains cas, l'effondrement d'installation peut avoir des conséquences dramatiques pour le personnel situé à proximité.

Le tableau suivant indique les effets des flux thermiques sur les structures à différents seuils.

<b>Flux thermiques (<math>\text{kW/m}^2</math>)</b>	<b>Dégâts constatés</b>
<b>2</b>	Déformations significatives des éléments de structure en bois
	Décoloration importante des éléments ou surfaces en matières synthétiques
<b>4</b>	Rupture ou destruction des éléments de structures en verre
<b>5</b>	Bris de vitre
<b>&lt; 8</b>	Propagation de feu improbable, sans mesure de protection particulière
<b>8</b>	La peinture cloque
<b>10</b>	Apparition d'un risque d'inflammation pour les matériaux combustibles (tels que le bois) en présence d'une source d'ignition
<b>&lt; 12</b>	Propagation de feu improbable, sans mesure de refroidissement suffisante
<b>15</b>	Inflammation des surfaces ou destruction des éléments constitués de bois et/ou matières synthétiques
<b>16</b>	Flux limite de tenue des structures pour une exposition prolongée, hors structure béton
<b>20</b>	Tenue du béton pendant plusieurs heures
<b>25</b>	Déformations significatives des éléments de structure en acier
<b>35</b>	Auto-inflammation du bois
<b>&lt; 36</b>	Propagation du feu à des réservoirs de stockage d'hydrocarbures, même refroidis
<b>84</b>	Auto-inflammation des matériaux plastiques thermodurcissables
<b>100</b>	Rupture ou destruction des éléments de structures en acier
<b>200</b>	Ruine du béton en quelques dizaines de minutes

**Références bibliographiques**  
**API RP 521 (1990) ; Green book – TNO (1989) ; GESIP (1991)**

### Remarque :

La Société Dupont de Nemours précise que l'inflammation de matière combustible est possible à partir d'un flux de  $12,5 \text{ kW/m}^2$ , et que la ruine des équipements métalliques est envisageable à partir de  $37,5 \text{ kW/m}^2$ .

### Effets sur l'homme :

Le rayonnement thermique d'un feu peut causer des brûlures sur la peau en fonction de l'intensité du rayonnement et de la durée d'exposition.

Plusieurs classifications de sévérité de brûlures ont été proposées, chacune dépendant du degré de dommage de la peau.

<b>Brûlure du 1<sup>er</sup> degré</b>	Pas de formation de cloques, légère douleur, pas de dégât irréversible.
<b>Brûlure au 2<sup>ème</sup> degré</b>	Formation de cloques.
<b>Brûlure au 3<sup>ème</sup> degré</b>	Brûlures profondes avec destruction de toutes les couches de la peau.

### **Classification de sévérité des brûlures (3 niveaux)**

Dans le cas de brûlures du 2<sup>ème</sup> degré et du 3<sup>ème</sup> degré, si plus de 50 % de la surface du corps est atteinte (la tête, les bras et les mains représentant 26 % de la surface totale du corps), ces brûlures sont mortelles.

Si l'on considère les résultats expérimentaux obtenus sur les seuils de douleur et de brûlure du 2<sup>ème</sup> degré, on constate que pour un flux de 5 kW/m<sup>2</sup> :

- ➡ Le seuil douloureux est atteint après 15 secondes,
- ➡ Les brûlures du 2<sup>ème</sup> degré apparaissent au bout de 40 secondes.

Si l'on note que le port de vêtement atténue fortement le flux thermique incident, une personne soumise à 5 kW/m<sup>2</sup> aura 30 secondes pour s'éloigner en un lieu où le flux thermique sera supportable (à 1,7 kW/m<sup>2</sup> aucune douleur n'apparaît).

La valeur de flux thermique de 5 kW/m<sup>2</sup> sera considérée comme dimensionnante pour la sauvegarde des individus.

Il faudra noter qu'avec cette valeur de flux et un temps d'exposition de 40 secondes, l'inflammation de vêtement est peu probable. En effet, pour une exposition de 40 secondes, le flux incident nécessaire pour l'inflammation spontanée de divers tissus est de 15 kW/m<sup>2</sup> pour le coton et 17 kW/m<sup>2</sup> pour la laine.

Il faut remarquer que la valeur limite de 5 kW/m<sup>2</sup> est celle proposée pour le gaz naturel liquéfié (méthane) dans « the United States Federal Safety Standarts for liquified Natural Gas Facilities (49 CFR-Part 193, 1980) ».

Les tableaux ci-après indiquent les effets des flux thermiques sur l'homme à différents seuils.

### Phénomène de longue durée (supérieure à 2 minutes)

<b>Flux thermiques (kW/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Types d'effets constatés</b>
<b>3</b>	Effets Irréversibles
<b>5</b>	Effets Létaux par effets indirects

**Référence bibliographique**  
**Baker (1983)**

**Phénomène de courte durée (inférieure à 2 minutes)**

Doses thermiques ( $[(kW/m^2)^{4/3}].s$ )	Types d'effets constatés
85	Seuil de douleur
200	Brûlures du 1 <sup>er</sup> degré
600 (ou 3 kW/m <sup>2</sup> )	Effets Irréversibles
700	Brûlures du 2 <sup>ème</sup> degré superficielles
1000 (ou 5 kW/m <sup>2</sup> )	Effets Létaux (correspondant potentiellement à 1 % de létalité)
1200	Brûlures du 2 <sup>ème</sup> degré sévères
1800 (ou 8 kW/m <sup>2</sup> )	Effets Létaux Significatifs
2000	Effets Létaux (correspondant potentiellement à 50 % de létalité)
2200	
2600	Brûlures du 3 <sup>ème</sup> degré superficielles
6000 - 7000	Effets Létaux (correspondant potentiellement à 100 % de létalité)

**Références bibliographiques**  
**Baker (1983) ; Hymes (1983) ; Rew (1997)**

**I.3 SEUILS CRITIQUES RETENUS**

L'intensité des effets d'un incendie est définie par rapport à des valeurs de référence exprimées sous forme de seuils pour les hommes et les structures.

L'Arrêté Ministériel du 29 septembre 2005 fixe les valeurs seuils de référence.

Effets thermiques (kW/m <sup>2</sup> )	Effets sur l'homme	Effets sur les structures
3	Seuil des Effets Irréversibles (SEI) délimitant la zone des dangers significatifs pour la vie humaine	---
5	Seuil des Effets Létaux (SEL) délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine	Seuil des destructions de vitres significatives
8	Seuil des Effets Létaux Significatifs (SELS) délimitant la zone des dangers très graves pour la vie humaine	Seuil des effets dominos et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures
16	---	Seuil d'exposition prolongé des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton
20	---	Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton
200	---	Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes

## **II. L'EXPLOSION**

### **II.1 LES CAUSES**

Une **explosion** peut être due à un produit qui possède sous certaines conditions des caractéristiques explosives.

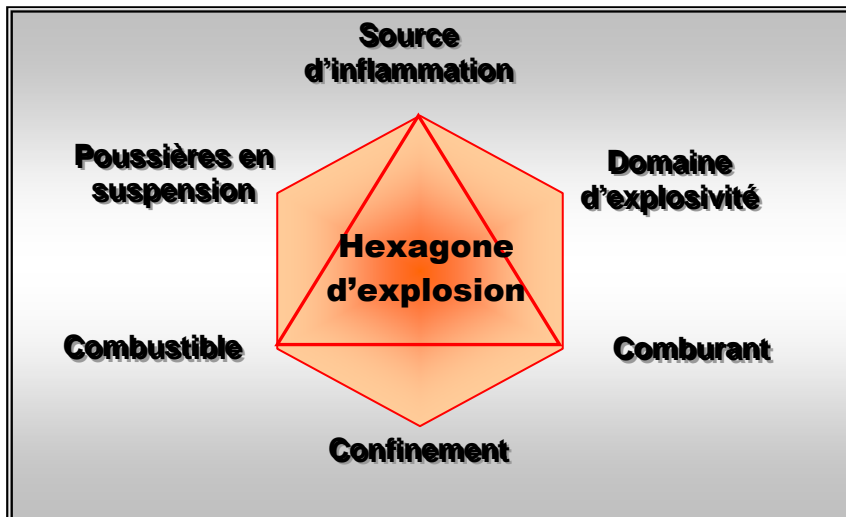
Il peut s'agir :

- de nuages de poussières organiques inflammables,
- de vapeurs de gaz explosives.

Dans les deux cas, pour qu'une explosion se produise, il est indispensable de réunir simultanément les conditions suivantes :

1. Un combustible,
2. Un comburant (oxygène),
3. Une source d'ignition ou une élévation de température,
4. Un nuage de gaz explosif ou de poussières combustibles en suspension,
5. Une teneur en combustible comprise entre la LIE (Limite Inférieure d'Explosivité) et la LSE (Limite Supérieure d'Explosivité),
6. Un mélange suffisamment confiné.

On parle de **l'hexagone d'explosion**.



Pour ce qui concerne les conséquences d'un tel phénomène, en vertu de la condition précédente "**confinement**", les effets de surpression consécutifs à l'explosion seraient prépondérants dans le cas où l'atmosphère explosive se formerait au sein d'une enceinte confinée.

Par contre, en milieu peu ou non confiné, ce sont plutôt les effets de la flamme produite par un phénomène de flash-fire qui seraient à considérer.



### Sources d'ignition ou d'élévation de température

Les sources d'ignition peuvent être d'origine :

<b>Electrique</b>	Court circuit, électricité statique, matériel non adapté,....
<b>Mécanique</b>	Friction d'éléments métalliques, la présence de corps étrangers, ...
<b>Humaine</b>	Malveillance, travaux d'entretien qui dégagent de la chaleur et des particules métalliques incandescentes, négligence par non respect des consignes : interdiction de fumer, ...
<b>Exogène</b>	Foudre, ...

### Comburant

L'oxygène est un comburant puissant qui active la combustion de certains matériaux. Il est essentiellement présent dans l'air.

### Combustible

Suivant les activités de l'Etablissement, différents combustibles peuvent être présents sur un site.

#### ☛ Vapeurs explosives

Sous certaines conditions, les gaz et les liquides inflammables présentent un risque d'explosion dû à leurs vapeurs inflammables. En effet, lorsque la concentration en vapeurs inflammables dans l'air atteint où dépasse la **Limite Inférieure d'Explosivité (LIE)** du produit, il y a risque d'explosion.

La **LIE** est la concentration minimale en volume à partir de laquelle l'explosion du mélange gaz-air peut se produire.

#### ☛ Poussières organiques

L'explosion de poussières organiques résulte de l'effet combiné d'une source d'inflammation, de la mise en suspension dans l'air de poussières combustibles (blé par exemple) et de la présence d'oxygène. A l'instar des vapeurs explosives, dès lors que la concentration en poussières se situe dans le domaine d'explosivité, le risque d'explosion existe.

#### ☛ Il existe deux types d'explosion de poussières :

<b>EXPLOSION PRIMAIRE</b>	C'est l'explosion initiale produite à la suite de l'inflammation d'un nuage de poussières dont la concentration est supérieure à la <b>Limite Inférieure d'Explosivité</b> ou <b>LIE</b> et se trouve dans le domaine d'explosivité.
<b>EXPLOSION SECONDAIRE</b>	C'est l'explosion qui est déclenchée par la propagation du front de flamme dans l'atmosphère explosive créée après la mise en suspension de dépôts de poussières par action de l'onde de pression provenant de l'explosion primaire.

## **II.2 LES CONSEQUENCES**

Les effets dynamiques résultent de la surpression produite.

Ils peuvent engendrer :

- ➡ des dommages corporels,
- ➡ la destruction d'installation et la projection de fragments pour les structures.

### **Effets sur les structures et les équipements :**

Le tableau ci-dessous donne les types de dégâts que l'on rencontre en fonction de la surpression moyenne appliquée.

#### **L'examen de ce tableau montre :**

- ✗ Qu'une surpression de l'ordre de quelques dizaines de mbar est susceptible de briser et de projeter les vitrages,
- ✗ Qu'une surpression de l'ordre de 100 mbar disloque les structures légères (panneaux genre Eternit),
- ✗ Qu'une surpression de 200 à 500 mbar endommage fortement les structures en briques ou en parpaings,
- ✗ Que vers 700 mbar la plupart des constructions classiques s'effondrent,
- ✗ Que les dommages aux colonnes à distiller et les ruptures de tuyauteries peuvent être rencontrés à partir de 350 mbar,
- ✗ Qu'un renversement de wagons peut survenir pour des pressions supérieures à 500 mbar.

<b>Effets pression (mbar)</b>	<b>Dégâts constatés</b>
<b>10</b>	Bris de vitres (valeur type)
<b>20</b>	Bris de vitres (destruction $\geq 10$ %)
<b>25</b>	Bris de vitres (destruction à 50 %)
<b>30 - 35</b>	Dégâts légers aux structures
<b>50</b>	Bris de vitres (destruction à 75 % et occasionnel pour les cadres de fenêtres)
	Dégâts mineurs des structures des maisons
<b>70</b>	Bris de vitres (destruction totale)
	Toit d'un réservoir a cédé
	Démolition partielle des maisons rendues inhabitables
<b>80 - 100</b>	Dommages mineurs aux structures métalliques
<b>90</b>	Déformations légères des cadres métalliques des bâtiments
<b>100</b>	Détérioration et destruction des cadres de fenêtres selon leur nature
<b>140</b>	Effondrement partiel des murs et toits des maisons
<b>150 - 200</b>	Murs en parpaings détruits
<b>160</b>	Limite inférieure des dégâts graves aux structures
<b>170</b>	Destruction à 50 % des maisons en briques
	Dégâts modérés sur les structures
<b>200</b>	Cadres en acier des bâtiments déformés et arrachés de leurs fondations, légers dommages aux machines dans les bâtiments industriels
<b>200 - 300</b>	Ruptures des structures auto-porteuses industrielles
	Fissure dans les réservoirs de stockage d'hydrocarbures vides
	Déformations légères de canalisations
<b>300</b>	Revêtement des bâtiments industriels légers soufflé
<b>350</b>	Dégâts conséquents des structures
<b>350 - 400</b>	Déplacement d'un rack de canalisation, rupture de canalisations
<b>400 - 550</b>	Destruction d'un rack de canalisation
<b>500</b>	Retournement des wagons de chemin de fer chargés
	Destruction de murs en briques (épaisseur de 20 à 30 cm)
	Destruction totale des maisons
<b>620</b>	Destruction totale des wagons de chemin de fer chargés
<b>700</b>	Destruction des murs en béton armé, destruction totale probable des bâtiments, dommages graves aux machines situées dans les bâtiments industriels
<b>830</b>	Destruction totale des structures
<b>1000</b>	La structure porteuse d'un réservoir de stockage circulaire a cédé

**Références bibliographiques**

**Lannoy (1984) ; Green book – TNO (1989) ; Lees (1996)**

### Effets sur l'homme :

Le tableau ci-dessous indique les risques encourus par les personnes soumises à la suppression d'une explosion.

<b>Effets pression (mbar)</b>	<b>Types d'effets constatés</b>
<b>20</b>	Effets Irréversibles (par bris de vitres)
<b>50</b>	Effets Irréversibles
<b>140</b>	Effets Létaux par effets indirects
<b>200</b>	Effets Létaux par effets directs (hémorragies pulmonaires – correspondant potentiellement à 1 % de létalité)
<b>300 - 340</b>	Détérioration des tympans
<b>700</b>	Effets Létaux par effets directs (hémorragies pulmonaires – correspondant potentiellement à 99 % de létalité)
<b>1000</b>	Effets Létaux par effets directs (hémorragies pulmonaires)

### **Références bibliographiques**

**TNO (1989) ; US Department of the Army (1990) ; Centre de recherché du service des armies (1982) ; Baker (1983) ; Lees (1996) ; Guide MU (1990) ; INERIS**

### Ces risques proviennent de trois effets :

#### L'effet primaire :

Il résulte de l'action directe de l'onde de pression sur le corps humain.

La plus grande partie de l'onde de pression est absorbée par l'organisme dans lequel elle se propage, et s'amortit en raison de l'hétérogénéité du corps en provoquant des lésions anatomiques.

Ces lésions se traduisent notamment par l'éclatement des organes creux contenant des gaz (oreille, poumon, estomac, ...) dû à la détente des gaz succédant à leur compression brutale.

La rupture des tympans peut se produire pour des surpressions voisines de 400 mbar. Des lésions des poumons sont à craindre dès 1 bar.

#### L'effet secondaire :

Il résulte de l'impact sur le corps humain des projections d'objets ou fragments d'objets générés par l'explosion.

L'effet dépend de l'énergie du projectile d'impact.

Les éclats et projections peuvent perforer l'organisme ou occasionner des traumatismes en l'absence de perforation.

#### L'effet tertiaire :

Il résulte du heurt du corps humain propulsé sur un obstacle. Tout comme les objets situés dans le voisinage du siège de l'explosion, le corps humain peut être soulevé et propulsé. Une surpression de 150 à 200 mbar est suffisante pour propulser un homme de corpulence moyenne.

### **II.3 SEUILS CRITIQUES RETENUS**

L'intensité des effets d'une explosion est définie par rapport à des valeurs de référence exprimées sous forme de seuils pour les hommes et les structures.

L'Arrêté Ministériel du 29 septembre 2005 fixe les valeurs seuils de référence.

<b>Effets pression (mbar)</b>	<b>Effets sur l'homme</b>	<b>Effets sur les structures</b>
<b>20</b>	Seuil des effets délimitant la zone des effets indirects par bris de vitres.	Seuil des destructions significatives des vitres
<b>50</b>	Seuil des Effets Irréversibles (SEI) délimitant la zone des dangers significatifs pour la vie humaine	Seuil des dégâts légers sur les structures
<b>140</b>	Seuil des Effets Létaux (SEL) délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine	Seuil des dégâts graves sur les structures
<b>200</b>	Seuil des Effets Létaux Significatifs (SELS) délimitant la zone des dangers très graves pour la vie humaine	Seuil des effets domino
<b>300</b>	---	Seuil des dégâts très graves sur les structures

### **III. L'AUTO-ECHAUFFEMENT**

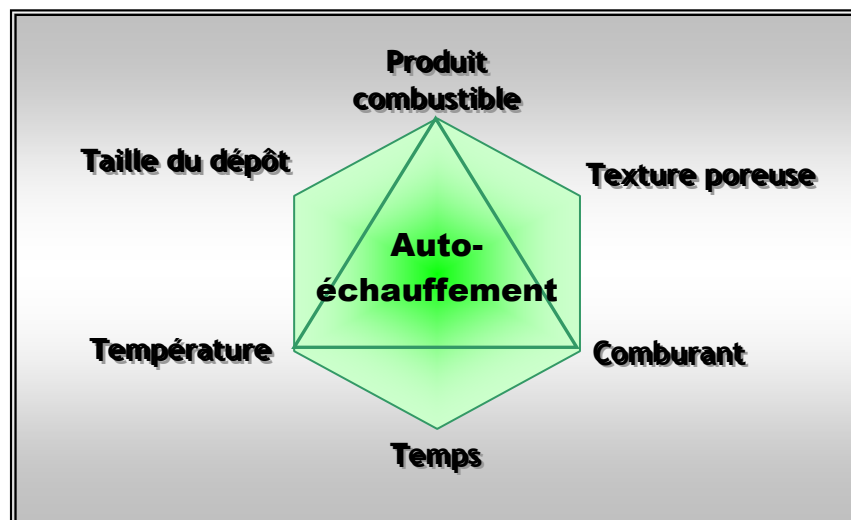
#### **III.1 LES CAUSES**

Dans un stockage de grande taille, deux phénomènes sont à prendre en compte :

- L'auto-échauffement qui est une élévation naturelle, la température de tout ou d'une partie du stockage sans action extérieure,
- L'auto-inflammation qui est un phénomène de combustion d'une partie du tas de grain, qui résulte de l'auto-échauffement.

Les risques d'auto-échauffement d'un stockage de produits pulvérulents sont à considérer dans les situations suivantes :

- Un produit stocké trop chaud,
- Un produit stocké trop humide,
- Une masse importante de pulvérulents en contact avec un comburant,
- La présence d'une source d'ignition extérieure (baladeuse).



A température ambiante, la plupart des poussières sont susceptibles de fixer l'oxygène avec dégagement de chaleur.

La vitesse d'oxydation dépend :

- ➡ Des propriétés d'oxyréactivité des poussières,
- ➡ De la granulométrie de la poudre qui conditionne la surface accessible à l'oxygène,
- ➡ De l'humidité ambiante et de celle de la poudre,
- ➡ De la pression partielle d'oxygène.

La dissipation de chaleur vers l'extérieur du dépôt ou du stockage dépend :

- ➡ De la géométrie,
- ➡ Du volume ou de l'épaisseur du dépôt.

Il y a auto-échauffement lorsque la vitesse de production de la chaleur est supérieure à la vitesse de dissipation.

La température dans le stockage s'élève avec une vitesse qui augmente avec la température ambiante.

En effet, la vitesse d'oxydation des produits suit la loi d'Arrhénius :

$$V = A \cdot \exp(-E / RT)$$

Avec :

**V** : Vitesse de la réaction à la température T (en mole d'O<sub>2</sub> par m<sup>3</sup> de poudre et par seconde)

**A** : Facteur exponentiel (en mol.m<sup>-3</sup>.s<sup>-1</sup>)

**E** : Energie d'activation (J.mol<sup>-1</sup>)

**R** : Constante des gaz parfaits (en J.mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)

**T** : Température (en Kelvin).

Si l'oxygène est disponible en quantité suffisante, l'auto-échauffement entraîne un incendie.

Pour éviter les risques liés à l'auto-échauffement, il convient de minimiser les vitesses d'oxydation, en jouant sur la température et la diffusion de l'air, et d'évacuer en toute circonstance le flux thermique produit par l'oxydation en jouant sur la taille du stockage.

Il est à rappeler que les risques liés à l'auto-échauffement sont l'élévation de température et le dégagement de gaz inflammables. La montée en température plafonne généralement à 60-70°C.

Dans ces conditions et si la taille du stockage dépasse la taille critique pour cette température et pour le produit considéré, l'échauffement peut conduire par oxydation chimique (généré par la présence d'oxygène) à l'auto-inflammation dès lors qu'aucun changement de phase (fusion, évaporation) n'entrave ce processus.

Des ordres de grandeurs des tailles critiques de stockage sont disponibles pour les oléagineux et différentes autres céréales (Etude FFCAT/INERIS). Elles sont données dans le tableau ci après (**Extrait du Guide Silo Avril 2005**).

Produit	Taille critique à une température de 30°C (auto-échauffement)	Taille critique à une température de 70°C (auto-inflammation)
<b>Oléagineux</b> (tournesol, ...)	15 m	3 m
<b>Céréales</b> (blé, orge, maïs, ...)	100 m	20 m

**Taille critique pour les stockages de produits agro-alimentaires**  
**(Rayon pour un silo vertical, hauteur du tas pour un silo plat)**

## III.2 LES CONSEQUENCES

**L'auto-échauffement** entraîne une élévation de température aux alentours de 60-70°C ainsi que le dégagement de gaz inflammable (combustion lente sans flamme).

**L'auto-inflammation** entraîne une combustion du tas accompagnée de flamme. Les conséquences sont identiques à celles présentées au Chapitre "Incendie".

## IV. LA FERMENTATION

### IV.1 LES CAUSES

Les céréales et notamment les grains de blé sont le siège d'une intense activité respiratoire due aux microorganismes présents dans le milieu naturel. Ce phénomène de respiration est exothermique et les réactions complexes peuvent se résumer par la formule suivante :



Il s'agit de la dégradation aérobie des glucoses, abondants dans les grains.

Il peut être établi expérimentalement un lien entre le dégagement "d" de CO<sub>2</sub> (en mg par 100 grammes de matières sèches et par 24 heures) et la quantité "q" de la chaleur produite par tonne de matière sèche et par heure.

La relation est la suivante :

$$q = 1,07 d$$

Dès que la teneur en CO<sub>2</sub> dépasse 10 %, le phénomène respiratoire en milieu confiné se bloque et laisse place aux phénomènes anaérobies (phénomènes très faiblement exothermiques mais générateurs de gaz inflammables).

Il faut ainsi distinguer deux types de fermentation "**aérobie et anaérobie**" en fonction de la présence ou non d'oxygène.

#### La phase aérobie

Elle est appelée aussi **fermentation aérobie**. Il s'agit d'un ensemble de processus biologiques qui se déroulent en présence d'oxygène. Cette phase se caractérise à la fois par une augmentation de la température des grains qui peut atteindre 60 à 70°C après quelques jours de stockage (en général 3 à 4 jours) et par la formation de gaz carbonique et d'eau.

Les conditions optimales d'une fermentation aérobie sont :

- ✖ Teneur en eau > à 20 %,
- ✖ L'air est indispensable au processus aérobie,
- ✖ Le rapport C/N optimum pour la fermentation aérobie se situe entre 15 et 18.

#### La phase anaérobie

En milieu **anaérobie** (absence d'oxygène), les phénomènes de fermentation sont générateurs de gaz inflammables (hydrogène, méthane, CO<sub>2</sub>) et ne sont à l'origine que de faibles réactions exothermiques. Le risque est alors lié à l'explosivité de ces gaz mélangés à l'air et non plus à l'auto-inflammabilité des grains.



Les facteurs influençant la dégradation des glucoses des grains sont au nombre de quatre :

- **La température,**
- **L'humidité et la ventilation,**
- **Le moment de la récolte,**
- **La nature de la microflore.**

#### **La température**

Jusqu'à 28°C, la production de chaleur augmente proportionnellement aux augmentations de la température. Elle double tous les 5°C, pour les céréales. Au-delà de cette température le dégagement de CO<sub>2</sub> tend vers une limite A qui est fonction de l'humidité du grain lui-même.

#### **L'humidité**

L'humidité d'un dépôt de grain n'étant pas homogène, il est complexe de définir l'influence de l'humidité. Cependant si l'on considère du grain bien homogène, on peut admettre en première approximation que le dégagement de chaleur double tous les 1,5 % d'humidité jusqu'à 20 % Matière Humide. Au-delà l'influence de l'humidité est plus faible.

#### **Influence du moment de la récolte**

Le grain récolté tardivement a une intensité respiratoire plus grande que celui qui n'a pas subi de variations météorologiques (humidité, pluie).

Par exemple, du blé normalement récolté à 16 % d'humidité, a une intensité respiratoire 3 à 4 fois plus faible qu'un grain récolté tardivement à la même humidité.

#### **Influence de la microflore**

La production de chaleur augmente corrélativement avec la vitesse de multiplication des micro-organismes (taux de croissance), qui est, elle-même, exponentielle. Il convient cependant de noter que des basses températures ralentissent cette vitesse de multiplication.

## **IV.2 LES CONSEQUENCES**

Les mécanismes biologiques intervenant dans la dégradation aérobie et anaérobie des grains sont extrêmement complexes et difficiles à maîtriser, en raison :

- De la variabilité des flores microbiennes,
- De la variabilité du substrat (grains) et des conditions de dégradations.

C'est pourquoi, les phénomènes biologiques sont difficilement modélisables et ne peuvent être abordés que par une approche qualitative

#### **Fermentation aérobie : dégagement de chaleur (auto-échauffement) avec risque d'auto-inflammation**

Dans certaines conditions de température et d'humidité, les grains de blé peuvent être le siège de mécanismes biologiques de fermentation. La fermentation aérobie (en présence d'air) entraîne une élévation de température de la masse stockée, pouvant évoluer en combustion lente. A terme, l'échauffement produit par oxydation biologique peut aboutir à une auto-inflammation.

Des formules empiriques permettent de chiffrer le phénomène de dégagement de chaleur. Pour le blé, la formule suivante est valable jusqu'à 28°C :

$$q = K e^{a \theta}$$

Avec :

K = 0,013 à 15 % d'humidité,

K = 0,02 à 16 % d'humidité,

K = 0,157 à 17 % d'humidité.

On note un accroissement important de la chaleur lorsqu'on passe de 16 à 17 % d'humidité.

Pour des gammes de température  
être utilisée :

plus larges la formule suivante peut

$$q = \frac{Ae^{(K\theta - 1)}}{1 + e^{(K\theta - 1)}}$$

Avec :

K : constante dépendante de l'humidité,

A : limite asymptotique du dégagement en fonction de l'humidité,

a : inverse d'une température ( a = 0,1385 pour les céréales),

θ: température en degré Celsius.

### **Fermentation anaérobie : production de gaz avec risque d'explosion**

Les phénomènes de fermentation anaérobie (en absence d'air) peuvent produire des gaz inflammables (méthane, hydrogène, CO<sub>2</sub>, ...). Ces gaz sont susceptibles de former un mélange explosible avec l'air.

## V. LA POLLUTION ACCIDENTELLE

### Deux types de pollution accidentelle peuvent intervenir en cas d'incident :

- ➡ L'émission dans l'atmosphère de fumées plus ou moins denses et de gaz de combustion, par exemple dans le cas d'un incendie survenant dans une des installations du site.
- ➡ Le déversement accidentel de substances, par exemple dans le cas d'une fuite lors d'un dépotage, d'une rupture de cuve ..., pouvant :
  - ✗ d'une part contaminer les sols et les eaux,
  - ✗ et d'autre part engendrer des dégagements de vapeurs toxiques en fonction de la nature chimique du produit.

### V.1 DEVERSEMENTS ACCIDENTELS

Les installations concernées par le risque de déversement accidentel sont :

- Les installations de stockage (réservoirs aériens et enterrés de stockage de produits),
- Les postes de chargement/déchargement,
- Les canalisations de transfert.

La nature des risques présentés est de deux types :

↳ Déversements instantanés en quantité importante (mais limités dans le temps)

- ➡ Débordement lors du remplissage d'un bac,
- ➡ Eclatement de la robe du bac,
- ➡ Rupture d'un élément de tuyauterie.

↳ Pertes à faible débit (mais étendues dans le temps)

- ➡ Perte en fond de cuve, par corrosion du métal,
- ➡ Mauvaise étanchéité des joints,
- ➡ Egouttures et déversements faibles mais répétés des installations de surface, etc.

### V.2 EMISSIONS ATMOSPHERIQUES

Les accidents pouvant engendrer des émissions atmosphériques sont :

- ✗ Les incendies, qui peuvent émettre dans l'atmosphère des fumées et des gaz de combustion, dont la nature et la densité sont fonction de l'installation et du produit concerné,
- ✗ Le déversement accidentel de produit dans une cuvette de rétention qui peut engendrer des émanations par évaporation de la flaque de produit au contact de l'air,
- ✗ Le mélange de produit chimiquement incompatible (erreur humaine lors du dépotage, rupture simultanée de deux contenants différents disposés sur une même cuvette de rétention, etc.).

### **V.3 SEUILS CRITIQUES RETENUS**

Les seuils d'effets toxiques de référence fixés par l'**Arrêté Ministériel du 29 septembre 2005** sont présentés dans le tableau suivant.

CONCENTRATION TOXIQUE	EFFETS SUR L'HOMME PAR INHALATION
<b>SER</b>	Seuil des effets réversibles
<b>SEI</b>	Seuil des Effets Irréversibles délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine ».
<b>SEL (CL 1%)</b>	Seuil des Effets Létaux délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine ».
<b>SELS (CL 5%)</b>	Seuil des Effets Létaux Significatifs délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine ».

*CL : Concentration Létale*

*SELS : Seuil des Effets Létaux significatifs,*

*SEL : Seuil des Effets Létaux, SEI : Seuil des Effets Irréversibles,*

*SER : Seuil des Effets Réversibles.*