

Sommaire du chapitre

# Cours TS01 ATEX

## Présentation et sommaire

## **Camille DURAND**

Ingénieur en sécurité des procédés

Evaluation et maîtrise des risques d'incendie et d'explosion dans les procédés

Direction incendie, dispersion et explosion

**Institut national de l'environnement industriel et des risques**

Parc technologique Alata - BP 2 - F-60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : 03 44 55 64 52 – 06 69 58 87 92

Institut national de l'environnement industriel et des risques



**EPIC (établissement public à caractère industriel et commercial) sous tutelle du ministère chargé de l'environnement.**

Créé en 1990 à partir du Cerchar (Centre d'études et de recherches des charbonnages de France) et de l'Ircha (Institut de recherche en chimie appliquée).

**Contribuer à la prévention des risques que les activités économiques font peser sur la santé, la sécurité des personnes et des biens, et sur l'environnement**

**Installations expérimentales à grande échelle**

**Expérience de longue date du monde industriel**

Plus de **1 000 clients** chaque année en France et à l'international

**Equipes pluridisciplinaires**

Environ **550 personnes** (ingénieurs, chercheurs, techniciens et doctorants)

Site de **40 ha** à Verneuil-en-Halatte (Oise) : **15 ha** de plateformes d'essais & **30 000 m<sup>2</sup>** de laboratoires et halles d'essais

**4 implantations régionales** (Nancy, Aix-en-Provence, Bourges et Lyon) & 1 bureau à **Paris**

**74,8 M€** de recette en **2021**

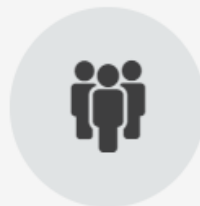
# L'Ineris : une expertise basée sur l'approche expérimentale, la modélisation et la connaissance du monde industriel



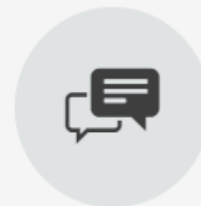
PRESTATIONS



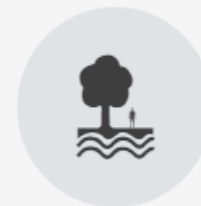
RISQUES SOL / SOUS-SOL



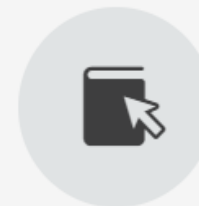
APPUI AUX  
POLITIQUES  
PUBLIQUES



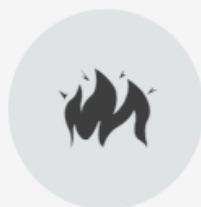
OUVERTURE A LA  
SOCIETE



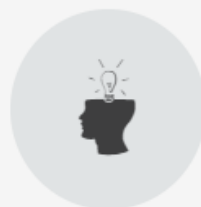
RISQUES  
CHRONIQUES



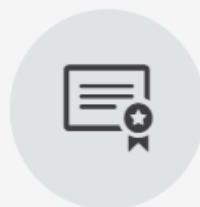
BASE DOCUMENTAIRE



RISQUES  
ACCIDENTELS



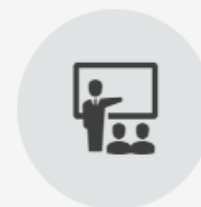
RECRUTEMENT



CERTIFICATIONS



NOS PLATEFORMES  
D'ESSAIS EN GRAND

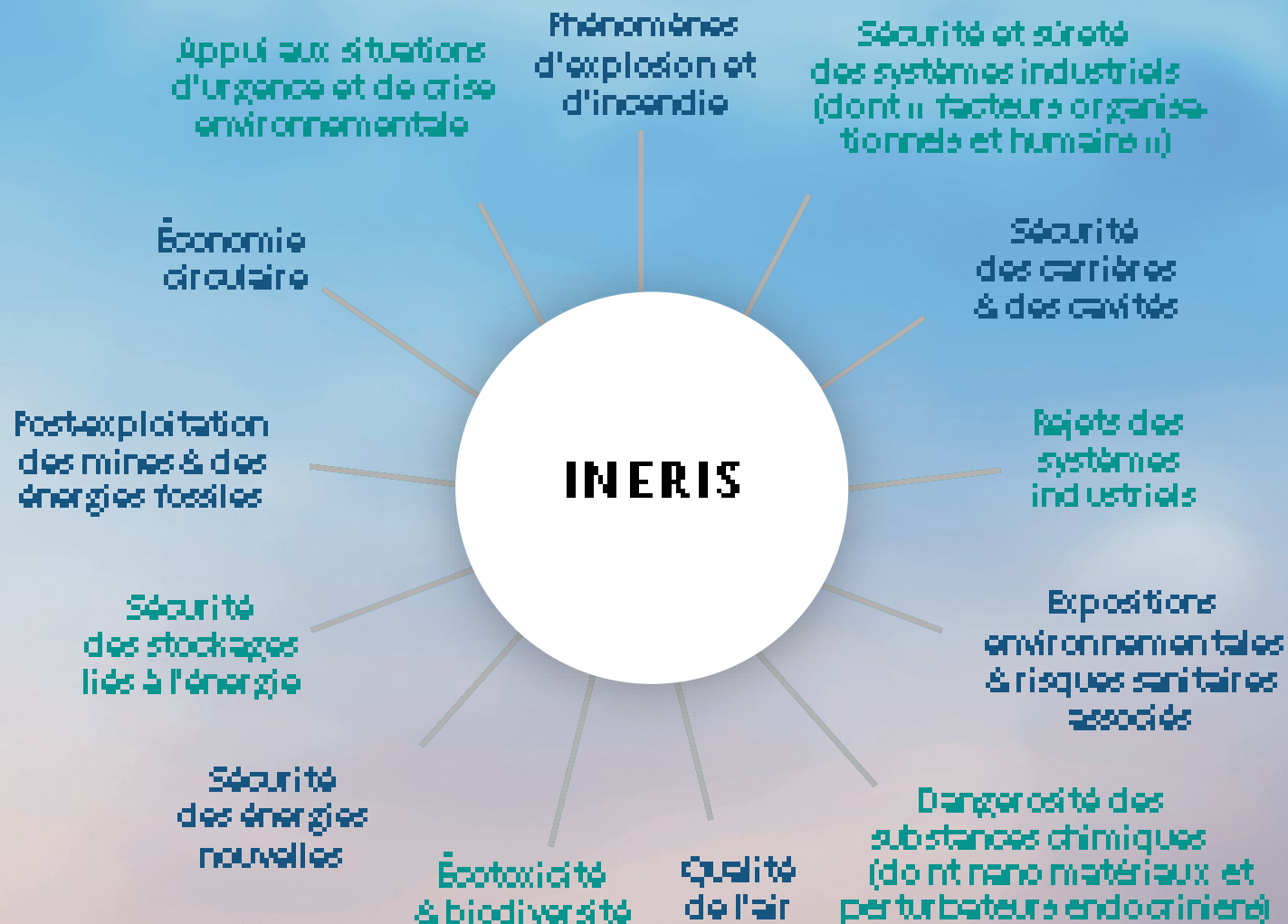


FORMATION



RECHERCHE

# L'Ineris : une expertise basée sur l'approche expérimentale, la modélisation et la connaissance du monde industriel





INSTALLATIONS &  
PROCÉDÉS



SUBSTANCES &  
PRODUITS



INCENDIE, EXPLOSION,  
DISPERSION



ENVIRONNEMENT  
SANTÉ



SOLS & SOUS-SOLS



CERTIFICATION

Le modèle de l'**Ineris** est fondé sur un **trépied** :

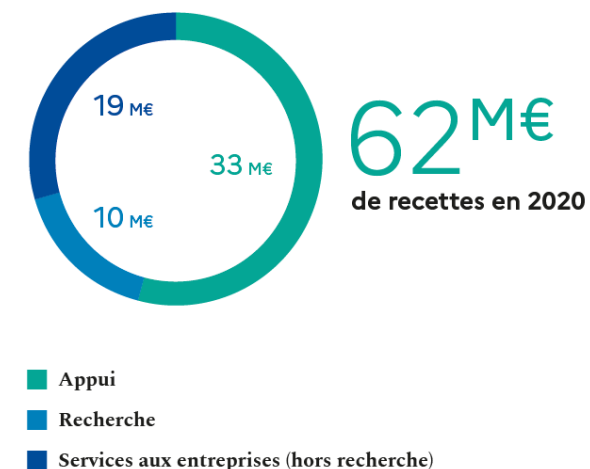
**[53 %] Appui** aux politiques publiques

**[31 %] Activités** de service aux entreprises

**[16 %] Recherche appliquée** de haut niveau

Ce modèle repose sur **une déontologie exigeante** et un **dialogue régulier avec la société civile**. Il lui permet de fournir au ministère une expertise nourrie des dernières avancées scientifiques et de la réalité du terrain.

## RÉPARTITION DE L'ACTIVITÉ





## Missions :

1. **Caractérisation** de l'**inflammabilité** et de l'**explosivité** des **substances** et des **phénomènes électrostatiques**
2. **Evaluation** et **maîtrise des risques d'incendie** et d'**explosion physique** et d'**ATEX** dans les **procédés existants** et les **technologies innovantes** en **prévention** ou en **expertise d'accident**

## Activités :

- **Caractériser** expérimentalement des substances et des phénomènes électrostatiques
- **Evaluer** & développer ces protocoles d'essais
- **Analyser** des risques d'incendie, de formation et d'inflammation d'ATEX
- **Recommandation** de mesures de prévention, protection et intervention pour lutter contre ces risques en prenant en compte les risques pour les installations et les opérateurs
- **Accompagner** les filières concernées par des problématiques d'incendie et d'explosion dans les procédés, y compris émergents : méthanisation, hydrogène, nano, etc.
- **Recherche** des origines des mécanismes accidentels impliqués en cas d'incendie ou explosion dans les procédés
- Conception et animation de **formations** dans ces domaines



# PROGRAMME DE L'INTERVENTION



Accidentologie liée aux ATEX  
Phénoménologie de l'explosion d'ATEX  
Enjeux et outils de l'analyse des risques ATEX  
Caractérisation des substances  
Evaluation des risques ATEX  
Etudes de cas



# Cours TS01 ATEX

Accidentologie des explosions d'ATEX : un risque toujours présent dans l'industrie

## Le phénomène d'explosion : origine physique ou origine chimique

Une explosion, c'est :

- ✓ la transformation rapide d'un système thermodynamique,
- ✓ avec une libération soudaine et brutale de gaz,
- ✓ accompagnée éventuellement d'une émission de chaleur importante.

L'énergie libérée peut avoir une origine **physique** ou **chimique**.

**Origine physique :**

- ✓ rupture d'un récipient pressurisé par un gaz (bonbonne de gaz dans un feu),
- ✓ vaporisation brutale d'un liquide surchauffé (explosion de chaudière)

**Origine chimique :**

- ✓ l'explosion d'une ATEX : la combustion chimique
- ✓ l'explosion qui résulte d'un emballement thermique

**Une atmosphère explosive (ATEX) est un mélange avec l'air, dans les conditions atmosphériques, de substances inflammables sous forme de gaz, vapeurs, brouillards ou poussières, dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange non brûlé.**

# Evaluation des risques ATEX : quel bilan ?

## Aspects réglementaires :

Décret n°2008-244 du 07/03/2008 codifié aux articles R4216-31 et R4227-42 à R4227-54 du Code du Travail transposant en droit français la Directive Européenne 1999/92/CE du 16/12/99 concernant les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosibles.

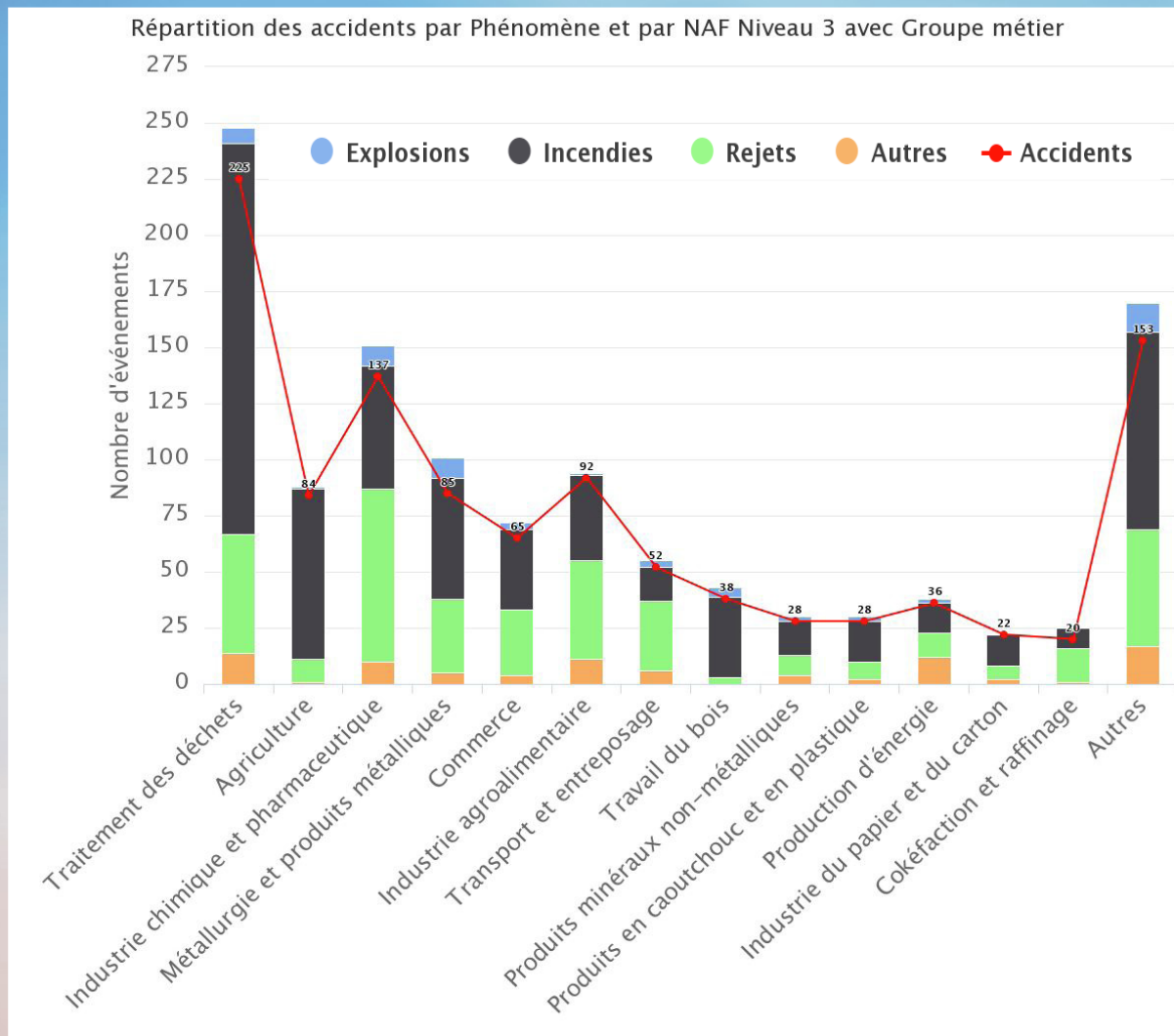
Réglementation applicable depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2006 pour tous les sites sujets aux ATEX (anciens et nouveaux).

### Evolution de la prise en compte de la réglementation ATEX 1999/92/CE depuis 2006 :

- Forte mobilisation dans la formation des acteurs (sécurité, entretien et maintenance, BE),
- De plus en plus d'acteurs HSE dans les entreprises,
- Plusieurs secteurs professionnels ont rédigé des guides ATEX (raffinerie, UIC, assainissement,...),
- Analyse des risques ATEX incomplète et peu argumentée (approche forfaitaire),
- Déclinaison « terrain » du plan d'action de l'analyse des risques (mesures techniques et organisationnelles) fortement liée aux aspects économiques,
- Difficulté de démontrer le choix des mesures de sécurité car absence de lien avec les scénarios de dangers associés,
- Signalisation de zones ATEX de plus en plus fréquente sur le terrain,
- Le DRPCE est dans la majorité des cas incomplet voire inexistant.



## Répartition des accidents et des phénomènes accidentels par secteur d'activité (978 accidents et incidents recensés en 2017)



**Le nombre d'accidents et leur répartition entre les différents secteurs d'activité est assez stable d'une année sur l'autre.**

**En moyenne, les incendies, les rejets de matières dangereuses et les explosions sont observés dans, respectivement, 61 %, 33 % et 6 % des accidents. Mais ces proportions varient en fonction du secteur d'activité.**

**La proportion la plus importante d'incendies se produit dans les secteurs du traitement des déchets, de l'agriculture, du travail du bois, de l'industrie chimique et pharmaceutique, de la production d'énergie électrique.**

**L'année 2017 a été marquée par de nombreux incendies survenus sur des stockages de bois broyés (déchets ou bruts). Les volumes très importants entreposés ont engendré de fortes difficultés d'intervention pouvant durer jusqu'à un mois.**

Sur les dix dernières années, **150** accidents ont engendré un arrêt de travail dont **4 décès** - CNAMTS

**Explosion** dans un **silo de son** d'une **semoulerie** (Ref. BARPI  
N° 47052 28/08/2015 FRANCE - 92 – GENNEVILLIERS)



Journées ATEX Ineris - 2016

| Type d'explosion                      | Nombre<br>(2015-2016) | Nombre<br>(2010-2011) |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| ATEX Gaz                              | 19                    | 25                    |
| ATEX Vapeur                           | 4                     | 5                     |
| ATEX Poussières                       | 8                     | 6                     |
| ATEX Brouillard                       | 0                     | 0                     |
| Autres explosions ou scénario inconnu | 42                    | 28                    |

## Statistiques de la CNAMTS (2008 – 2011)



### Les explosions :

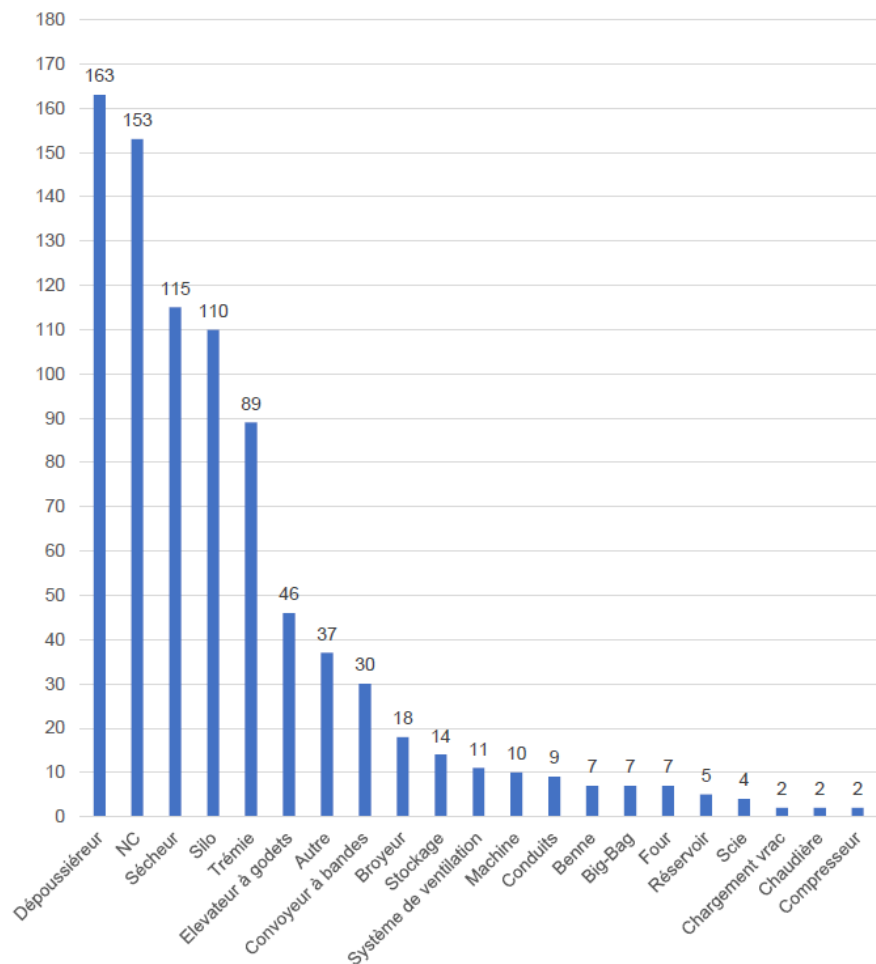
- Faible nombre d'accidents du travail (AT),
- Gravité souvent supérieure à celle d'autres AT : accidents avec arrêts (ITT), accidents graves (IPT, décès).

### Moyenne annuelle sur une période de 2008 – 2011 :

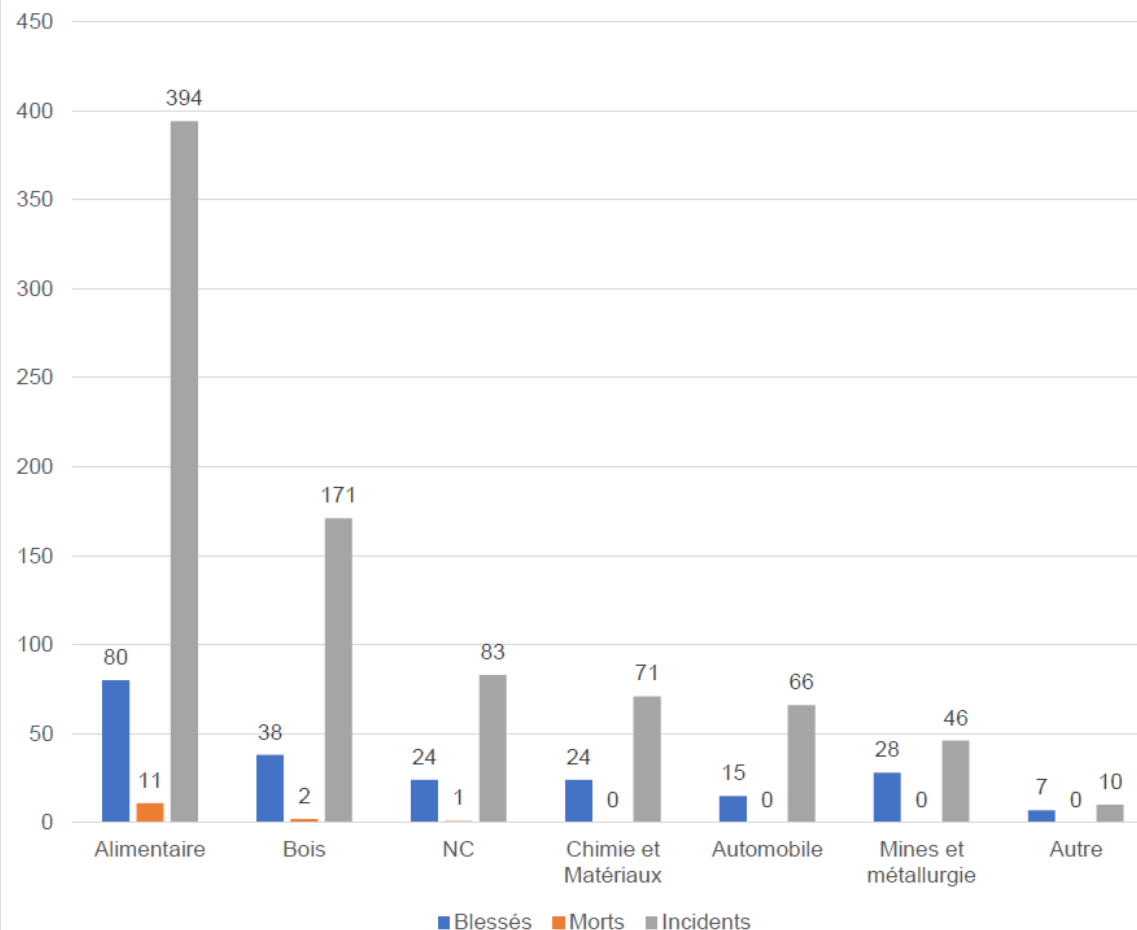
- Nombre d'accidents avec arrêt / an : 154,7 (0,02 %)
- Nombre d'accidents graves / an (IPT) : 25,5 (0,06 %)
- Nombre d'accidents avec décès / an : 3,75 (0,68 %)
- Nombre de jours d'ITT / an : 16 810,5 (0,045 %)

# Explosions ATEX poussières récentes aux US: analyse statistique du REX

Répartition des équipements impliqués dans les incidents relevés entre 2016 et 2021



Nombre d'incidents de morts et de blessés par filière de 2016 à 2021





## Exemples d'accidents récents par secteur d'activité (Source : BARPI)

### Cela concerne tous les secteurs d'activité :

#### - Activité agricoles et agroalimentaires :

Explosion dans un silo de son d'une semoulerie (Ref BARPI N° 47052 28/08/2015 FRANCE - 92 – GENNEVILLIERS)

#### - Métallurgie et travail des métaux :

Fuite de gaz suivie d'une explosion dans une forge (Ref BARPI : N° 46991 03/08/2015 FRANCE - 56 – LORIENT)

Explosion puis feu d'un aspirateur à poussières métallique (Ref BARPI : N° 45970 14/11/2014  
FRANCE - 59 - GRANDE-SYNTHE)

#### - Chimie de base, chimie fine, raffinage et dépôts hydrocarbures, plastiques et caoutchoucs :

Explosion d'un fût sur un site de conditionnement de produits chimiques (Ref BARPI N° 46663  
21/05/2015 FRANCE - 69 – CHASSIEU)

Explosion dans une usine chimique (Ref BARPI N° 45643 15/04/2014 FRANCE - 84 – AVIGNON)

#### - Gestion des déchets :

Explosion et fuite enflammée de biogaz dans un centre d'enfouissement de déchets  
(Ref BARPI : N° 45070 20/03/2014 FRANCE - 33 – LAPOUYADE)

**Mais aussi : assainissement, menuiserie, nouvelles énergies ....**

Explosion puis incendie à la suite d'une rupture de canalisation de biogaz (Ref BARPI N° 34251 18/02/2008  
FRANCE - 94 – VALENTON (Expertise INERIS)



# Principales causes des accidents

Les causes des accidents restent des paramètres difficiles à appréhender en l'absence d'expertises approfondies et sont parfois multiples lors de la survenue d'un accident :

| Type de cause                      | Explosion | Incendie |
|------------------------------------|-----------|----------|
| Défauts matériels                  | 32 %      | 33 %     |
| Interventions humaines             | 15 %      | 17 %     |
| Perte de contrôle de procédé       | 25 %      | 22 %     |
| Agressions externes / Malveillance | 10 %      | 20 %     |
| Dangers latents                    | 18 %      | 8 %      |

## Causes organisationnelles : une des clés de la compréhension d'un accident de type explosion

### Les causes organisationnelles sont connues dans 30 % accidents :

- Des défaillances concernant l'organisation du travail, au sens de sa mise en œuvre sur le terrain : organisation et encadrement, formation et qualification, organisation des contrôles,
- Des insuffisances dans la gestion des risques (identification des risques, procédures et consignes de sécurité, choix des équipements / procédés).

### Les mesures organisationnelles pour la maîtrise des défauts matériels sont critiques :

- Adéquation des procédés : identification des scénarios accidentels, analyse des risques, sélection des dispositifs de sécurité associés,
- Adéquation des équipements : notamment les matériels « ATEX » en terme de prévention de sources d'inflammation,
- Qualité des contrôles et de la maintenance : procédures et consignes de sécurité, maintien du niveau de fiabilité dans la durée des barrières techniques et humaines de sécurité : formation, ventilation, inertage, matériels ATEX (certification de matériel ATEX, certification de compétence Ism-ATEX / Saqr-ATEX), mise à jour du DRPCE.

# Gestion des risques accidentels

## Principales difficultés constatées :

- Méconnaissance des propriétés dangereuses des substances (caractéristiques d'inflammabilité et d'explosivité) ;
- Méconnaissance des paramètres de fonctionnement et de sécurité du procédé ;
- Difficulté dans la mise à jour des dispositifs de sécurité existants et du maintien de leur fiabilité dans la durée ;
- Analyse des risques ATEX non adaptée et peu argumentée (approche forfaitaire) : méconnaissance du procédé et classement de zones majorant ;
- La notion de classement de zones ATEX 2 et 22 reste un point délicat à maîtriser ;
- Difficulté d'évaluer les sources d'inflammation électriques (dont E/S) et non électriques ;
- Difficulté de démontrer sur le terrain le « bien fondé » des mesures de sécurité car absence de lien avec les scénarios de dangers associés.

## Présentation d'un cas concret : Imperial Sugar (2008) CSB (US, agence fédérale indépendante)

### Contexte :

**USA, Port Wentworth, Géorgie (07/02/2008)**

**14 décès, 38 blessés dont 14 blessés grave (brûlures)**

**Propagation d'explosion dans les bâtiments**

**Conditionnement : 3 silos de conditionnement, ligne de conditionnement**

**Transport de la matière : Elévateurs à godets, élévateurs à vis et bandes transporteuses**



## Présentation d'un cas concret : Imperial Sugar (2008) CSB (US, agence fédérale indépendante)



## Présentation d'un cas concret : Imperial Sugar (2008) CSB (US, agence fédérale indépendante)





## Présentation d'un cas concret : Imperial Sugar (2008) CSB (US, agence fédérale indépendante)

### Analyse succincte :

Atmosphère très empoussiérée (couche de sucre de 10 cm à certains endroits)

Particules fines ( $< 500 \mu\text{m}$ ) en accumulation dans l'air

Mauvaises pratiques (nettoyage insuffisant, utilisation de soufflettes à air comprimé)

Broyage très fin, aspiration sous dimensionnée et non correctement maintenue

Elévateurs à godets et bandes transporteuses non connectés au système d'aspiration

Capotage partiel et non relié à un système d'aspiration des systèmes de transport de matière



## Présentation d'un cas concret : Imperial Sugar (2008) CSB (US, agence fédérale indépendante)

### Ce qu'il s'est passé :

Capotage d'un transporteur à bande (qualité) sans aspiration à la source

Motte de sucre bloque une goulotte de descente

Accumulation de poussière jusqu'à la concentration explosive (CME,  $\sim 30 \text{ g/m}^3$ ) (ATEX poussière)

Nuage en contact avec une source d'inflammation (probablement un palier en surchauffe)

**Explosion primaire** : explosion primaire, remonte par l'élévateur à godets

**Explosion secondaire** : série d'explosions secondaires en chaîne, tant qu'il y a du combustible



## Présentation d'un cas concret : Imperial Sugar (2008) CSB (US, agence fédérale indépendante)

**Ce qu'il s'est passé :**

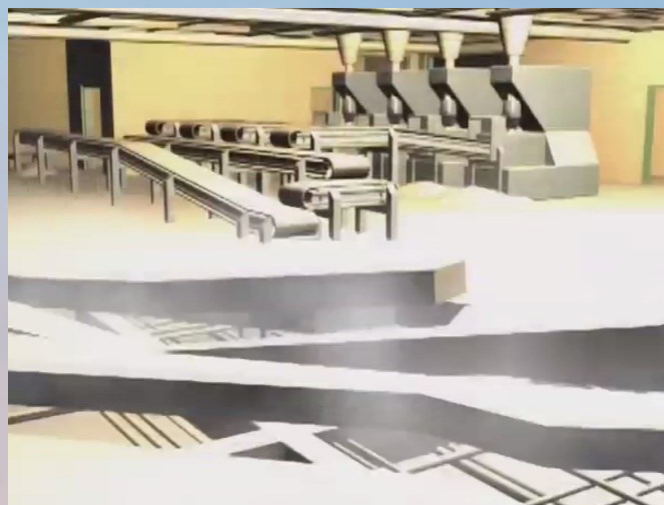
**Planchers en béton cèdent, libération de tonnes de sucre**

**Alimentation de l'incendie par du combustible (sucre)**

**Exercices d'évacuation d'urgence non réalisés, plus d'éclairage dans l'usine**

**Fuite compliquée du brasier**

...Loi de Murphy : si quelque chose doit mal tourner, c'est ce qui se passera.



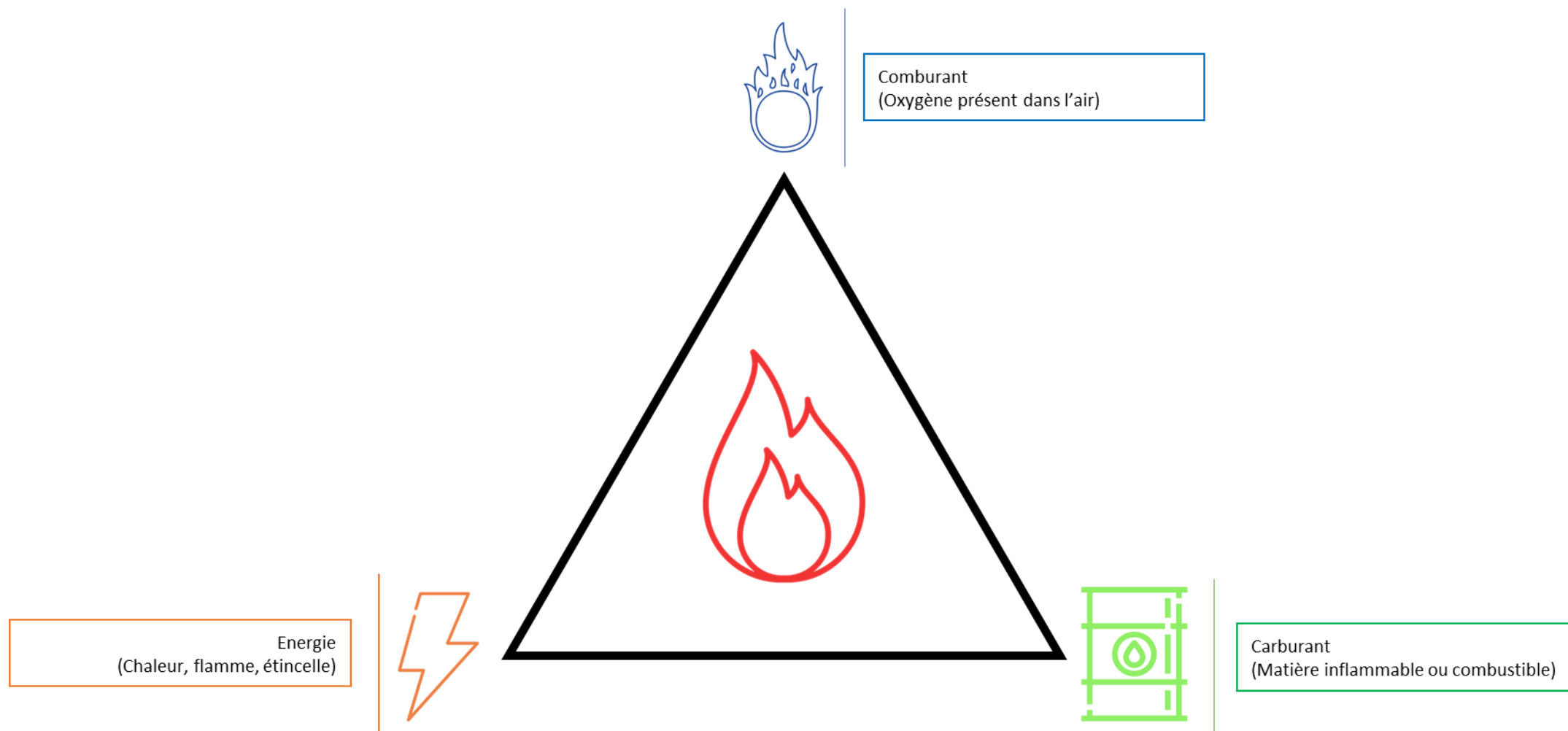
# Cours TS01 ATEX

Phénoménologie de l'explosion d'ATEX

# Cours TS01 ATEX

## Vidéo phénoménologie

# Triangle du feu



L'explosion d'ATEX est une combustion.

Une combustion est la réaction rapide d'oxydation d'un carburant (combustible, inflammable, oxydable) par l'oxygène de l'air (comburant).

Elle est fortement exothermique (dégagement de chaleur).

On distingue les régimes/configurations :

1. de diffusion,
2. de prémélange.

## Régimes de combustion : diffusion

Dans le régime de **diffusion**, le carburant et le comburant migrent vers la flamme. L'alimentation en comburant se fait par les côtés.

Carburants => Flamme (réaction) <== Comburant

Ce régime donne lieu **uniquement** à des **feux** (de solides, de nappes, feux torches, ...).





## Régimes de combustion : prémélange

Le régime de **prémélange**, carburant et comburant sont mélangés avant d'être brûlés.

Carburant & Comburant ==> front de flamme ==> ...

Une combustion de prémélange donne lieu à des :

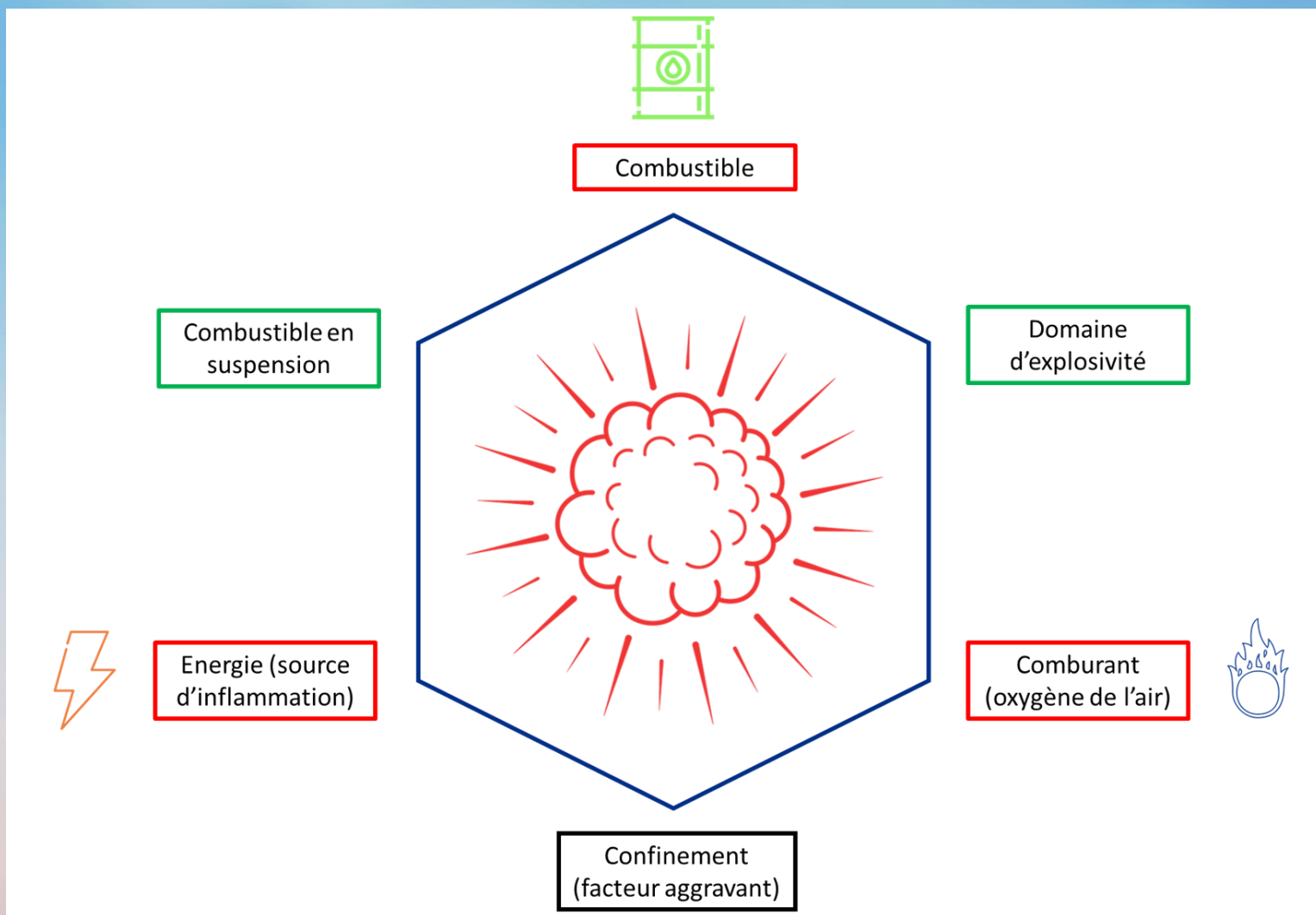
**feux beaucoup plus chauds** (bec bunsen, soudure oxyacétylénique, etc.)

**OU**

des **explosions** si l'inflammation est retardée



# Hexagone de l'explosion



# Condition à la formation d'une ATEX

Gaz & vapeurs



Poussières



Liquides



# Poussières en suspension

Diamètre des particules < 0,5 mm (500 µm)

Origine :

- Produits finis ou intermédiaires
- Déchets de fabrication
- Abrasion de matières solides

Formation du nuage :

- **Par le procédé** de fabrication (broyage, séchage, chute du produit par gravité, transport, pneumatique, décolmatage, ...)
- **Par soulèvement** d'un dépôt (courant d'air, vibrations, explosion primaire, ...)

# Mécanisme de l'explosion

Pour que l'explosion puisse s'amorcer, le mélange doit **recevoir localement un minimum d'énergie** et se propage à l'ensemble du système

La réaction s'effectue localement : dans une **zone mince** appelée « flamme ». La **flamme** progresse des gaz brûlés vers le mélange explosif.

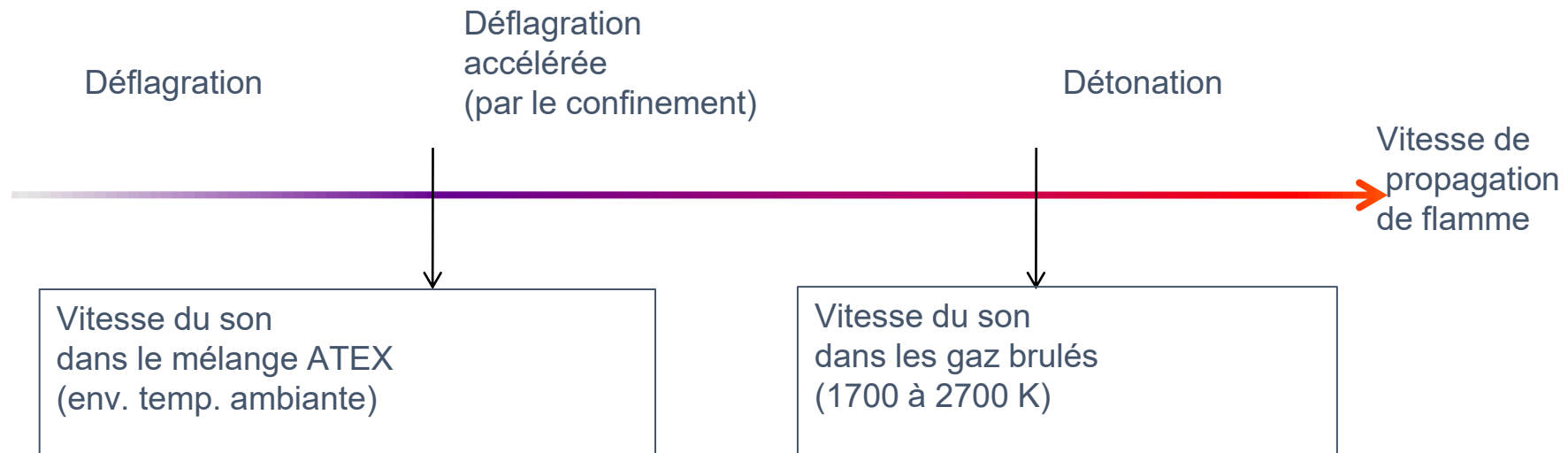
On distingue deux types distincts de propagation d'une explosion :

la **déflagration** (grande majorité des cas)

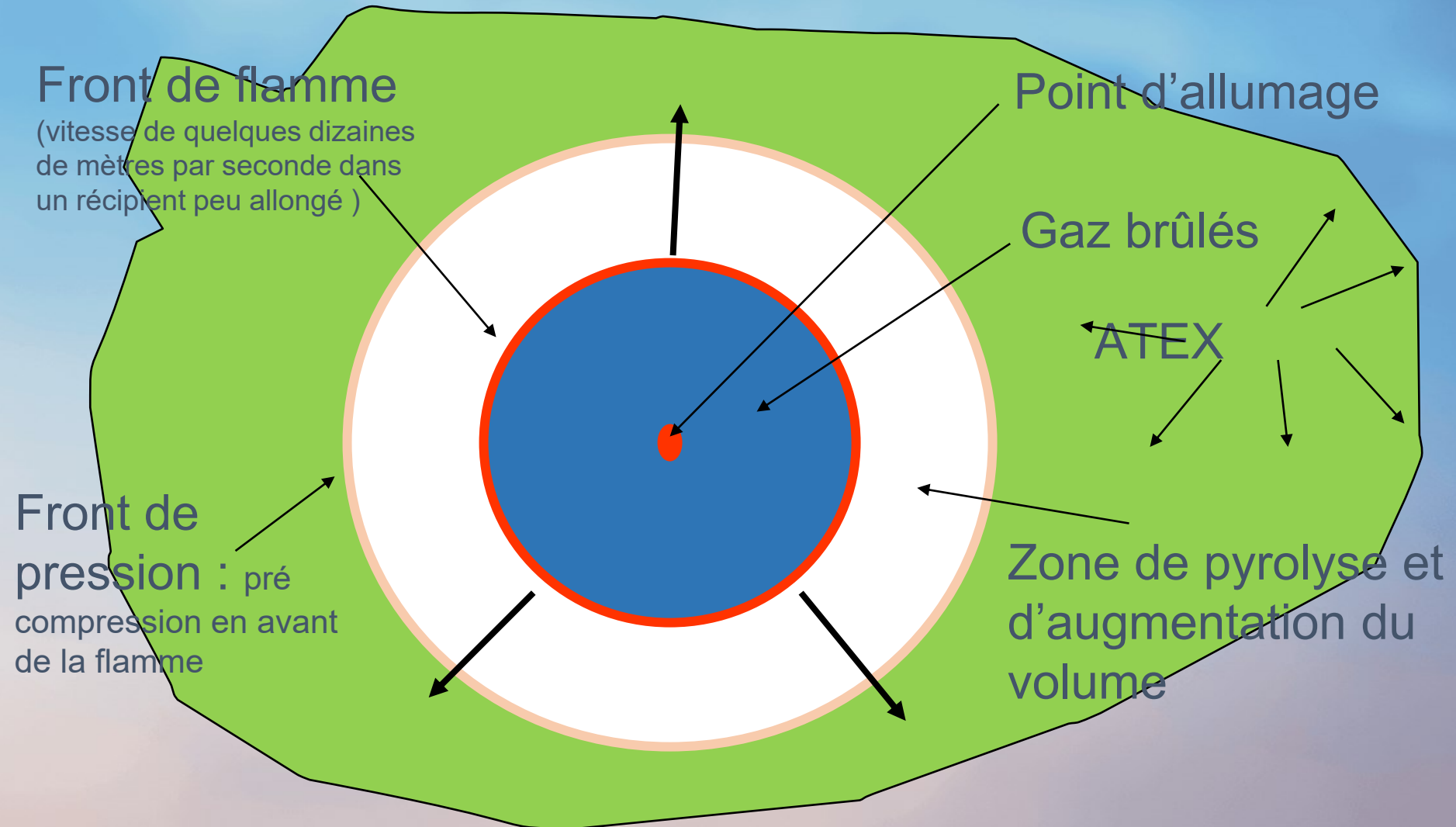
la **détonation** (la plupart du temps initiée par une déflagration)

# Mécanisme de l'explosion

Les différents régimes de propagation d'une explosion d'ATEX sont fonction de la vitesse du front de flamme par rapport à la vitesse du son



# Développement d'une explosion : déflagration



# Mécanisme de l'explosion : déflagration

La combustion se propage de **proche en proche**

Par conduction et/ou rayonnement, les gaz brûlés **échauffent** le système initial (ou gaz imbrûlés) et lui apportent **l'énergie d'activation** qui lui permet de réagir à son tour

la zone où se produit la réaction s'appelle la « **flamme** » ou le « **front de flamme** »



# Mécanisme de l'explosion : déflagration

La détente des gaz brûlés génère :

1. une onde de pression en avant de la flamme
2. Un effet d'entraînement/propulsion souvent appelé « effet piston ».

Dans des locaux et équipements connectés, une **explosion primaire** peut donner lieu à des **explosions secondaires** qui sont **plus violentes** : l'onde de pression produite par l'explosion primaire soulève de la poussière combustible et donc produit des ATEX déjà turbulentes.

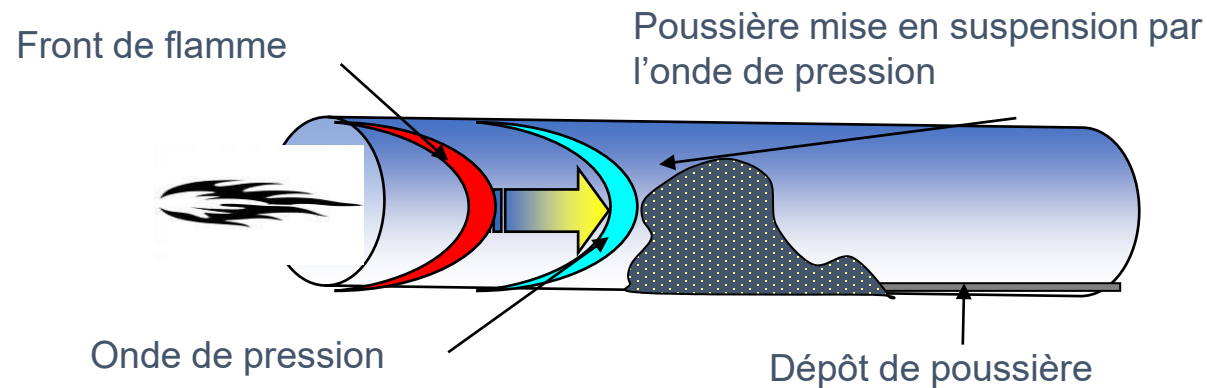
# Propagation d'une explosion: accélération

L'onde de pression augmente la turbulence et donc la **vitesse de la flamme** par rapport à un repère fixe peut ainsi atteindre **plusieurs centaines de m/s**

Confinement et encombrement : très forte compression en avant de la flamme, forte turbulence, forte accélération

vitesse de flamme : jusqu'à **1500 m/s**

surpression maximale : **plusieurs dizaines de bars**



# Déflagration et détonation

Une déflagration peut s'accélérer suffisamment pour qu'il se produise une transition vers la détonation (TDD)

La transition vers une détonation est ponctuelle dans le temps et l'espace, et est le phénomène le plus violent (vitesse et surpression) de toutes les explosions

De même, lorsque les conditions de propagation d'une détonation disparaissent, il y a retour à la déflagration

# La détonation

La différence avec la déflagration réside dans le **mécanisme de transfert d'énergie** des gaz brûlés vers gaz imbrûlés : l'onde de choc comprime (échauffe) le mélange explosif.

La détonation résulte de la propagation d'une « onde de détonation », c'est-à-dire d'un **couplage** entre une **onde de choc** et la **flamme** où se produit la combustion

Vitesse de **plusieurs milliers** de m/s (supersonique par rapport aux gaz brûlés) qui ne dépend que de la composition chimique initiale.

# Thermodynamique de l'explosion

Les produits de la réaction sont des gaz ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ) ; du fait de l'énergie libérée, ces gaz sont portés à température élevée (plusieurs milliers de K)

Il est possible d'appliquer la loi des gaz parfaits avant et après l'explosion (pas pendant, car il n'y a pas d'équilibre)

$$P.V = n.R.T$$

# Thermodynamique de l'explosion

$$P.V = n.R.T$$

en cas d'explosion, la température passe de 273 K à environ 2 700 K,  
 n augmente pour la plupart des carburants,  
 R est une constante

(P.V) doit donc augmenter.

Si la **pression est constante** (absence de confinement), le volume multiplié par un  
 facteur 7 à 10 : boule de feu

Si le **volume est constant** (espace confiné), pression multipliée par un facteur 7 à  
 10 : surpression

# Thermodynamique de l'explosion

Les conséquences d'une explosion dépassent le seul volume occupé par l'ATEX :

- ✓ Si un confinement a induit une montée en pression il y a une très forte probabilité de rupture de paroi (onde de pression) et de projection de missiles,
- ✓ Si il n'y a quasiment pas de confinement, le volume est multiplié (impact directe de la flamme) et les effets de rayonnement thermiques sont encore plus étendus que le volume de combustion

La direction et la distance des effets (primaires et secondaires) sont la plupart du temps très difficiles à déterminer

# Cours TS01 ATEX

Enjeux et outils de l'analyse des risques ATEX



# Enjeux de l'analyse de risques

## Challenges pour intégrer la prévention des risques

### Challenge « Développement du projet industriel » :

- Aspects techniques : besoins fonctionnels, performances et sécurité,
- Aspects administratifs et réglementaires : permis de construire, permis d'autorisation ICPE,
- Aspects financiers et juridiques.

### Challenge « Construction du projet industriel » :

- Aspects techniques : conception, dispositions constructives et réglementaires (ATEX, ICPE...),
- Aspect Essais et Contrôle en cours de travaux et à la réception : constructeur / exploitant),
- Aspects délais.

### Challenge « Mise en exploitation et Pilotage du procédé industriel » :

- Maîtriser les paramètres de fonctionnement du procédé et y caler les paramètres de sécurité procédé,
- Maintenir dans la durée la fiabilité des dispositifs de sécurité.

# Enjeux de l'analyse de risques : réglementation européenne

## 2 Directives réglementent les ATEX :

### **Directive 1999/92/CE**

Relative à la **sécurité des travailleurs**

**Exploitants d'installations** qui présentent des risques ATEX

**Classement de zone**

### **Directive 1994/9/CE & 2014/34/UE**

Relative aux **appareils et systèmes de protection** destinés à être utilisés en **atmosphère explosible**

**Constructeurs de matériels** ou **assemblages** destinés à **fonctionner en zone ATEX**

**Ne pas sous-estimer le risque** : Assurer une protection suffisante des travailleurs

**Ne pas surestimer le risque** : Dépenses inutiles ; Banalisation du risque

# Transcription en droit français

## Exploitant :

Décret n°2008-244 du 07/03/2008 codifié aux articles R4216-31 et R4227-42 à R4227-54 du **Code du Travail transposant en droit français la Directive Européenne 1999/92/CE du 16/12/99** concernant les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosibles.

## Matériel :

Décret n°2015-799 du 1er juillet 2015 relatif aux produits et équipements à risques et **Arrêté** du 1er juillet 2015 relatif aux organismes habilités à réaliser les évaluations de la conformité et les opérations de suivi en service des produits et équipements à risques transposant en droit français la **Directive Européenne 2014/34/UE du 26/02/2014** relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles

# Transcription en droit français

**Adapter l'analyse des risques d'explosion au procédé** et affiner les scénarios « ATEX » dès la conception en associant étroitement les concepteurs et les exploitants.

**Maintenir un niveau de fiabilité des mesures de sécurité** : formation, mise à jour des standards de sécurité (conception, construction des équipements, recommandations d'exploitation et de maintenance, ...), maintien de la fiabilité des dispositifs de sécurité.

**Maintenir et renforcer une culture de sécurité** en prenant davantage en compte les facteurs humains et organisationnels tout au long du cycle de vie du procédé.

**Développer le partage des enseignements** tirés des dysfonctionnements, incidents, accidents passés (retour d'expérience).

# Transcription en droit français

## **Article R4227-44 du Code du Travail**

Employeur : Empêche la formation d'atmosphères explosives ; évite leur inflammation ; atténue les effets nuisibles d'une explosion pour la santé et des travailleurs.

## **Article R4227-45 du Code du Travail**

Les mesures prises par l'employeur sont, au besoin, combinées et complétées avec des mesures destinées à prévenir la propagation des explosions. Elles font l'objet d'un réexamen périodique et chaque fois que se produisent des changements importants dans les conditions d'exécution du travail.

## **Article R4227-46 du Code du Travail**

Employeur : évalue les risques spécifiques créés par des atmosphères explosives. Tient compte de l'étendue des conséquences prévisibles d'une explosion.

## **Article R4227-50 du Code du Travail**

Employeur : subdivise en zones les emplacements dans lesquels des ATEX peuvent se présenter et veille à ce que les prescriptions minimales visant à assurer la protection des travailleurs soient appliquées dans ces emplacements.

## **Article R4227-52 du Code du Travail**

L'employeur établit et met à jour un « **Document Relatif à la Protection Contre les Explosions** », intégré au document unique d'évaluation des risques. Ce document comporte les informations relatives au respect des obligations définies aux articles R4227-44 à R4227-46....

# Classement de zone

|                |                           |  |
|----------------|---------------------------|--|
| <b>Zone 0</b>  | Gaz, vapeurs, brouillards | ATEX est présente en permanence ou pendant de longues périodes ou fréquemment  |
| <b>Zone 20</b> | Poussières                |  |
| <b>Zone 1</b>  | Gaz, vapeurs, brouillards | ATEX susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal  |
| <b>Zone 21</b> | Poussières                |  |
| <b>Zone 2</b>  | Gaz, vapeurs, brouillards | ATEX non susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou, si elle se présente néanmoins, n'est que de courte durée |
| <b>Zone 22</b> | Poussières                |  |

« fonctionnement normal » signifie que les installations sont utilisées conformément à leurs paramètres de conception

Remarque : le classement en zones ATEX ne tient pas compte des sources d'inflammation



**Annexe I de la Directive ATEX 1999/92/CE**

**Le classement en zones ATEX ne tient pas compte des sources d'inflammation**

## Classement de zone : emplacement dangereux

### Critères de dangerosité d'une « ATEX dangereuse » :

C'est la quantité d'ATEX, c'est-à-dire son volume, qui conditionne sa dangerosité : un **volume d'ATEX inférieur à 10 L (ou 1/10 000 du volume considéré)** n'a pas à être considéré comme dangereux,

C'est le confinement de l'ATEX (par extenso la résistance mécanique de l'enceinte) qui va amplifier la violence d'explosion et donc les effets de surpressions,

Une inflammation d'un volume d'ATEX à l'air libre et non confiné va générer une boule de feu de quelques secondes (dont le volume correspond à 8-10 fois le volume de l'ATEX) avec principalement des effets thermiques sur l'homme (blessures légères à graves, voire mortelles selon le volume de l'ATEX et l'exposition du travailleur).

# Classement de zone

**L'analyse des risques ATEX doit atteindre les objectifs suivants :**

Ne pas classer en zone 0/20, 1/21 l'emplacement des postes de travail avec présence d'opérateur mais à les classer en zones 2/22 voire non ATEX avec la mise en place de mesures techniques et/ou organisationnelles de sécurité.

Aboutir à des niveaux de criticité acceptables en adaptant les mesures organisationnelles et techniques de sécurité (prévention et protection).

Réaliser des économies en terme de limitation de zones ATEX : le matériel électrique et non électrique certifié ATEX est ainsi réduit. Le coût d'approvisionnement et d'entretien et de maintenance est lui aussi limité.



# Classement de zone

## Article R4227-46 du Code du Travail : Evaluation des risques d'ATEX

**Outils d'évaluation des risques** : grilles et descripteurs selon la **méthode INERIS** :

1. **Probabilité**  $P_{\text{explosion ATEX}} = P_{\text{apparition ATEX}} \times P_{\text{inflammation}}$
2. **Gravité** : niveaux réalistes
3. **Criticité** :  $P_{\text{expl}} \times \text{Gravité}$ . Non requis par la réglementation mais préliminaire à un plan d'action (qui nécessite en plus l'évaluation de la difficulté de mise en œuvre et le coût de mise en œuvre)

La **probabilité d'apparition** d'ATEX est la **zone ATEX**.

# Classement de zone

**Probabilité**  $P_{\text{explosion ATEX}} = P_{\text{apparition ATEX}} \times P_{\text{inflammation}}$

| Source d'inflammation présente   | Zone 20 ou 0 | Zone 21 ou 1 | Zone 22 ou 2 | Non Classé |
|--|--------------|--------------|--------------|------------|
| en fonctionnement normal   | 5            | 4            | 3            | 0          |
| en cas de dysfonctionnement (matériel non ATEX, sources infl. ponctuelles ou aléatoires) | 4            | 3            | 2            | 0          |
| Très rarement (foudre sur site protégé, électricité statique générée par opérateur, ...) | 3            | 2            | 1            | 0          |

**Gravité** : niveaux réalistes

| Gravité | Description  |
|---------|--|
| 3       | décès  |
| 2       | blessure grave à légère  |
| 1       | Aucune blessure (risque domino possible toutefois, incendie notamment) |

**Criticité** :  $P_{\text{explo}} \times \text{Gravité}$ .

| Gravité d'une explosion | Probabilité d'une explosion |   |   |   |   |   |
|-------------------------|-----------------------------|---|---|---|---|---|
|                         | 5                           | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 3                       | 7                           | 6 | 5 | 4 | 3 | 0 |
| 2                       | 6                           | 5 | 4 | 3 | 2 | 0 |
| 1                       | 5                           | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |

# Classement de zone

Certaines mesures préventives agissent uniquement sur la probabilité de formation d'une ATEX → diminution de zone et/ou diminution du volume de la zone

Certaines mesures préventives agissent uniquement sur la probabilité d'inflammation : diminution de la probabilité d'inflammation

Certaines mesures de protection diminuent la gravité en cas d'explosion : diminution de la gravité

Certaines mesures agissent à la fois en prévention et en protection : il s'agit principalement de la diminution du volume d'ATEX par ventilation, inertage ...

## Méthode d'analyse des risques : sécurité intégrée contre les explosions

Une évaluation des risques conforme à la réglementation ATEX passe par les étapes suivantes, pour chaque procédé/poste de travail :

- ✓ Évaluer l'emplacement, la probabilité et le volume d'une ATEX,
- ✓ Evaluer la probabilité d'inflammation des ATEX formées,
- ✓ Evaluer la gravité d'une explosion de ces ATEX,
- ✓ Mettre en place des mesures techniques ou organisationnelles afin de limiter le risque ; le réévaluer.

## Données d'entrée

| Etapes A.R. analytique ATEX  | Objectif  | Nécessite  |
|--|---|--|
| Connaître les matières mises œuvre, produites et sous produites (identification, caractéristiques d'inflammabilité et d'explosivité) | Présélectionner équipements /emplacements à risques   | Phénoménologie, Caractérisation connaissance technique                             |
| Connaître le fonctionnement d'un procédé/travail réalisé à un emplacement  | Identification zones ATEX 0,1, 20, 21                 | Connaissance technique, réglementation ATEX  |
| Identifier les dysfonctionnements prévisibles  | Identification zones ATEX 2, 22                       | Connaissance technique, réglementation ATEX  |
| Identifier les sources d'inflammations potentielles  | Probabilité d'inflammation<br>Probabilité d'explosion | Connaissances technique et des marquages   |
| Identifier le potentiel de danger direct et indirect   | Gravité d'explosion                                   | Phénoménologie, connaissance installations   |
| Proposer des améliorations (prévention, protection)  | Diminuer Probabilité et/ou Gravité d'explosion        | Connaissance technique, connaissance de barrières techniques ou organisationnelles |

## Référentiels : normes et guides

Norme CEI 60079-10-1 (Classement des Emplacements - Atmosphères Explosives gazeuses, 2020),

Norme CEI 60079-10-2 (Classement des Emplacements - Atmosphères Explosives poussiéreuses, 2015),

Guide de bonne pratique européen de la Directive ATEX 99/92/CE (avril 2003),

Les mélanges explosifs : Gaz et vapeurs (ED 911, INRS),

Les mélanges explosifs : Poussières combustibles (ED 944, INRS),

Vêtements de travail et EPI : propriétés antistatiques et critères d'acceptabilité en zone ATEX (ND 2358-227-12, INRS),

Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives : Guide méthodologique (ED 945, Sept 2006, INRS),

Conditions de formation d'une ATEX lors de la mise en œuvre de liquide inflammable ( ND 2313-216-09 INRS).

## Aspect normatif

Norme IEC 60079-10-1 (236 pages) : Atmosphères explosives - Partie 10-1: Classification des emplacements - Atmosphères explosives gazeuses, 2021

Cette norme indique une méthode pour le classement de zones ATEX gaz

- Identifier le degré de dégagement de gaz inflammable, identifier s'il s'agit d'un degré de dégagement continu, primaire ou secondaire,
- Evaluer le degré et la disponibilité de la ventilation.

Selon le degré et le niveau de la disponibilité de la ventilation et si la source de dégagement est liée à un dysfonctionnement (fuite de gaz inflammable), la norme précise s'il faut définir une zone ATEX 0, 1 2 ou une zone non classée.

### **Données et abaques pour le dimensionnement des zones ATEX :**

- Sections de brèches suggérées pour les degrés «dégagement secondaire» (fuite de bride, de raccords, de garnitures, de soupapes, pompes et compresseurs,...),
- Vitesse de l'air dans des emplacements extérieurs obstrués, non obstrués,
- Graphique permettant d'évaluer le degré de ventilation,
- Critères de disponibilité de la ventilation naturelle ou artificielle,
- Graphique pour l'estimation des distances d'emplacement dangereux.

## Aspect normatif : Norme CEI 60079-10-1 (Classement des Emplacements - Atmosphères Explosives gazeuses, 2020)

**Tableau D.1 – Zones correspondant au degré de dégagement et efficacité de la ventilation**

| Degré de dégagement           | Efficacité de la ventilation            |   |                                 |                  |                 |                 |                                    |
|-------------------------------|---|---|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|
|                               | Dilution élevée                         |   |                                 | Dilution moyenne |                 |                 | Dilution faible                    |
|                               | Disponibilité de la ventilation         |   |                                 |                  |                 |                 |                                    |
|                               | Bonne                                   | Assez bonne                             | Médiocre                        | Bonne            | Assez bonne     | Médiocre        | Bonne, assez bonne ou médiocre     |
| <b>Continu</b>                | Non dangereuse (Zone 0 EN) <sup>a</sup> | Zone 2 (Zone 0 EN) <sup>a</sup>         | Zone 1 (Zone 0 EN) <sup>a</sup> | Zone 0           | Zone 0 + Zone 2 | Zone 0 + Zone 1 | Zone 0                             |
| <b>Primaire</b>               | Non dangereuse (Zone 1 EN) <sup>a</sup> | Zone 2 (Zone 1 EN) <sup>a</sup>         | Zone 2 (Zone 1 EN) <sup>a</sup> | Zone 1           | Zone 1 + Zone 2 | Zone 1 + Zone 2 | Zone 1 ou zone 0 <sup>c</sup>      |
| <b>Secondaire<sup>b</sup></b> | Non dangereuse (Zone 2 EN) <sup>a</sup> | Non dangereuse (Zone 2 EN) <sup>a</sup> | Zone 2                          | Zone 2           | Zone 2          | Zone 2          | Zone 1 et même Zone 0 <sup>c</sup> |

<sup>a</sup> Zone 0 EN, Zone 1 EN ou Zone 2 EN indique une zone théorique dont l'étendue est négligeable dans les conditions normales.

<sup>b</sup> L'emplacement en Zone 2 créé par un degré « dégagement secondaire » peut dépasser celui correspondant à un degré « dégagement primaire » ou à un degré « dégagement continu », auquel cas, il convient de prendre la plus grande distance.

<sup>c</sup> correspond à la Zone 0 si la ventilation est très faible et le dégagement tel qu'en pratique une atmosphère explosive gazeuse est présente de façon pratiquement permanente (c'est-à-dire que la situation est proche d'une situation d'absence de ventilation).

Le signe "+" signifie "entouré par".

La disponibilité de la ventilation dans des espaces clos à ventilation naturelle ne doit jamais être considérée comme étant bonne.



## Aspect normatif

Norme IEC 60079-10-2 (56 pages)

Classement des Emplacements - Atmosphères Explosives poussiéreuses, 2015  
Cette norme indique une méthode pour le classement de zones ATEX poussière

Procédure de classification des emplacements d'ATEX poussière:

1. Connaitre la combustibilité ou non de la poussière
2. Identifier les sources de mises en suspension de poussière dans le procédé
3. Identifier les confinements de poussières
4. Régime d'exploitation et de maintenance de l'installation
5. Définir la probabilité que la poussière se dégage et leur durée de présence.

Normes AFNOR selon le type d'activité : proposition de classement de zones ATEX, de mesures de sécurité (attention à bien vérifier le champ d'application).

## Aspect normatif

**EN 1127** Atmosphères explosives - Prévention de l'explosion et protection contre l'explosion

**EN 13237** Atmosphères explosibles : Termes et définitions pour les appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles

**ISO 80079 - EN 13463** Appareils non électriques destinés à être utilisés en atmosphères explosives : série des normes

**EN 1437** Systèmes de suppression d'explosion

**EN 14460** Appareil résistant à l'explosion

**EN 14491** Systèmes de protection par événement contre les explosions de poussières

**EN 14797** Dispositifs de décharge d'explosion

**EN 14994** Systèmes de protection par événement contre les explosions de gaz

**EN 15089** Systèmes d'isolement d'explosion

**EN 16009** Dispositifs de décharge d'explosion sans flamme

**EN 16020** Dispositifs déviateurs d'explosion

**EN 16447** Vanne à clapet d'isolation d'explosion

**EN ISO 16852** Arrête-flammes : Exigences de performance, méthode d'essai et limite d'utilisation

**EN 60079** (ATEX gaz et vapeur) / **EN 61241** (ATEX poussières) Appareils électriques destinés à être utilisés en atmosphères explosives

## Classement de zone

Certaines mesures préventives agissent uniquement sur la probabilité de formation d'une ATEX → **restriction de zone ATEX (prévention par inertage, dilution)**

Certaines mesures préventives agissent uniquement sur la probabilité d'inflammation : **diminution de la probabilité d'inflammation (prévention par certification matériel ATEX)**

Certaines mesures de protection diminuent la gravité en cas d'explosion : **diminution de la gravité (protection contre l'explosion)**

**Les mesures préventives qui permettent de ne pas classer une zone ATEX doivent être identifiées dans le DRPCE et suivies dans le temps pour garantir un niveau de sécurité constant**

# Cours TS01 ATEX

## Caractérisation des substances

## Quelques définitions

**Point d'éclair** : température à laquelle le liquide émet suffisamment de vapeurs pour former avec l'air un mélange gazeux inflammable

**Domaine d'inflammabilité** (ou d'explosivité) : domaine de concentrations définies entre la LII et la LSI (ou la LIE ou LSE) dans lesquelles le produit peut s'enflammer (ou exploser)

**Concentration minimale d'explosion** : équivalent de la LIE pour les solides. La concentration maximale est difficilement déterminable (de l'ordre de plusieurs  $\text{kg.m}^{-3}$ )

**Température d'auto-inflammation** (ou minimale d'inflammation) : température minimale à laquelle le produit s'enflamme spontanément

**Energie minimale d'inflammation** : énergie minimale devant être fournie pour provoquer l'inflammation du produit

# Caractérisation du risque ATEX

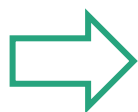
Identifier à priori si un risque est potentiellement présent (données physiques/chimiques)  
=  
caractériser les dangers du produit.

Ordre logique de la démarche :

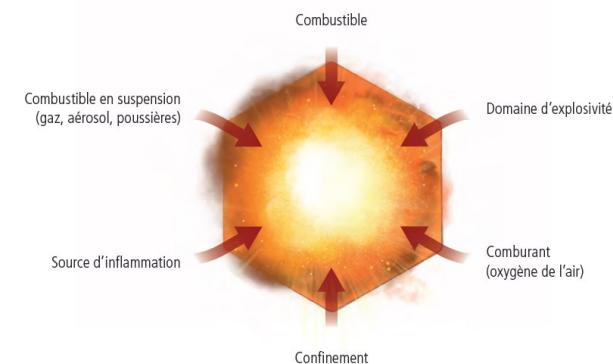
1. Possibilité de formation d'une ATEX → *selon l'état physique et la nature chimique du produit*
2. Caractéristiques d'inflammabilité de l'ATEX
3. Caractéristiques d'explosivité de l'ATEX  
→ *dimensionner la protection contre l'explosion*



Caractérisation des substances



Laboratoire d'essais INERIS  
LIPG – LEPG – LPES – S-Nano



# Caractérisation du risque ATEX

## 1- Caractérisation du potentiel de formation d'une ATEX

### Poussières

Granulométrie (LASER – mécanique)  
Taux d'humidité  
CLO  
LIE

### Gaz/Vap – Liquides

LIE-LSE  
CLO  
Point d'éclair  
Point de Feu

## 2- Caractéristiques d'inflammabilité d'une ATEX

### Poussières

Energie Minimale d'Inflammation  
TMI nuage

### Evaluation de l'inflammabilité

### Gaz/Vap – Liquides

Température d'auto-inflammation

### Capacité du produit à être source d'inflammation

TMI couche  
Etuve isotherme  
Résistivité volumique  
Temps de décharge

Temps de décharge  
Conductivité liquide

## 3- Caractéristiques d'explosivité d'une ATEX

### Poussières

Pmax, Kst

### Gaz/Vap – Liquides

Pmax, Kg

# Caractéristiques d'inflammabilité d'une ATEX

Accidents : deux grandes catégories principales et des sources plus marginales.

1. Inflammation par **point chaud (TAI liquide / TMI couche et nuage)**
2. Inflammation par **étincelle/décharge (EMI)**

surfaces chaudes

flammes et gaz chauds (incluant les particules chaudes)

étincelles d'origine mécanique

appareils électriques

courants électriques "vagabonds"

électricité statique

foudre

rayonnement haute fréquence

rayonnement optique

rayonnement ionisant

ultrasons

compression adiabatique

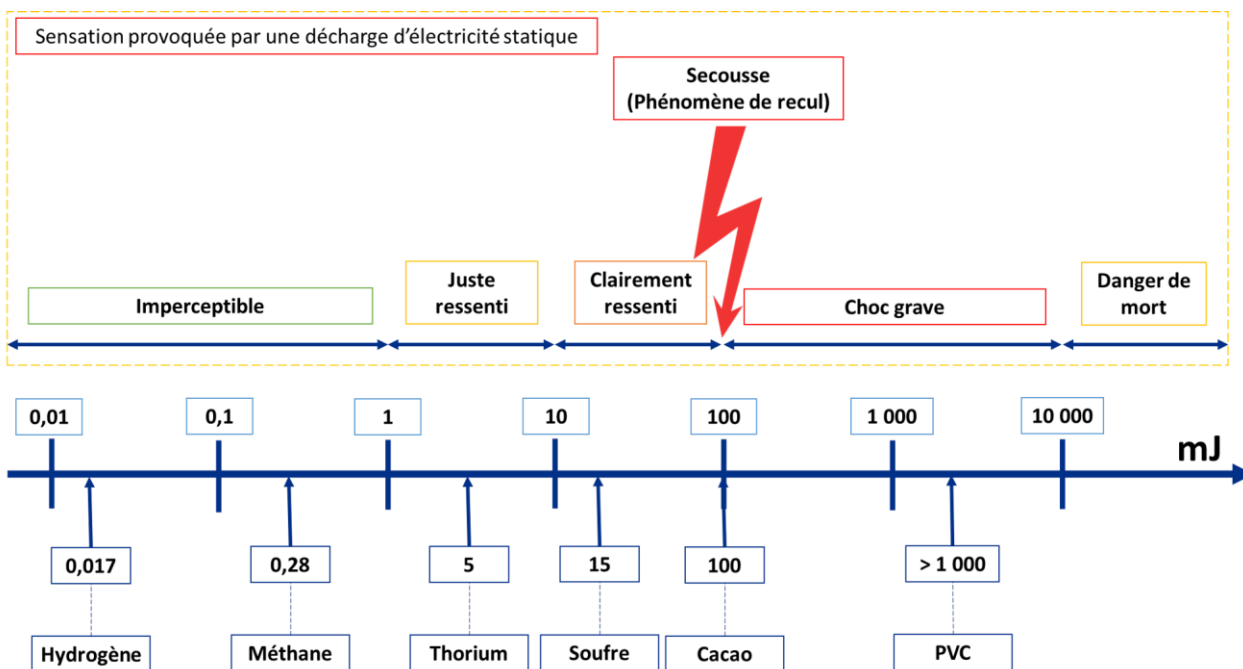
**réactions exothermiques incluant la fermentation et l'auto-inflammation**

accumulation de radicaux



# Energie minimale d'inflammation

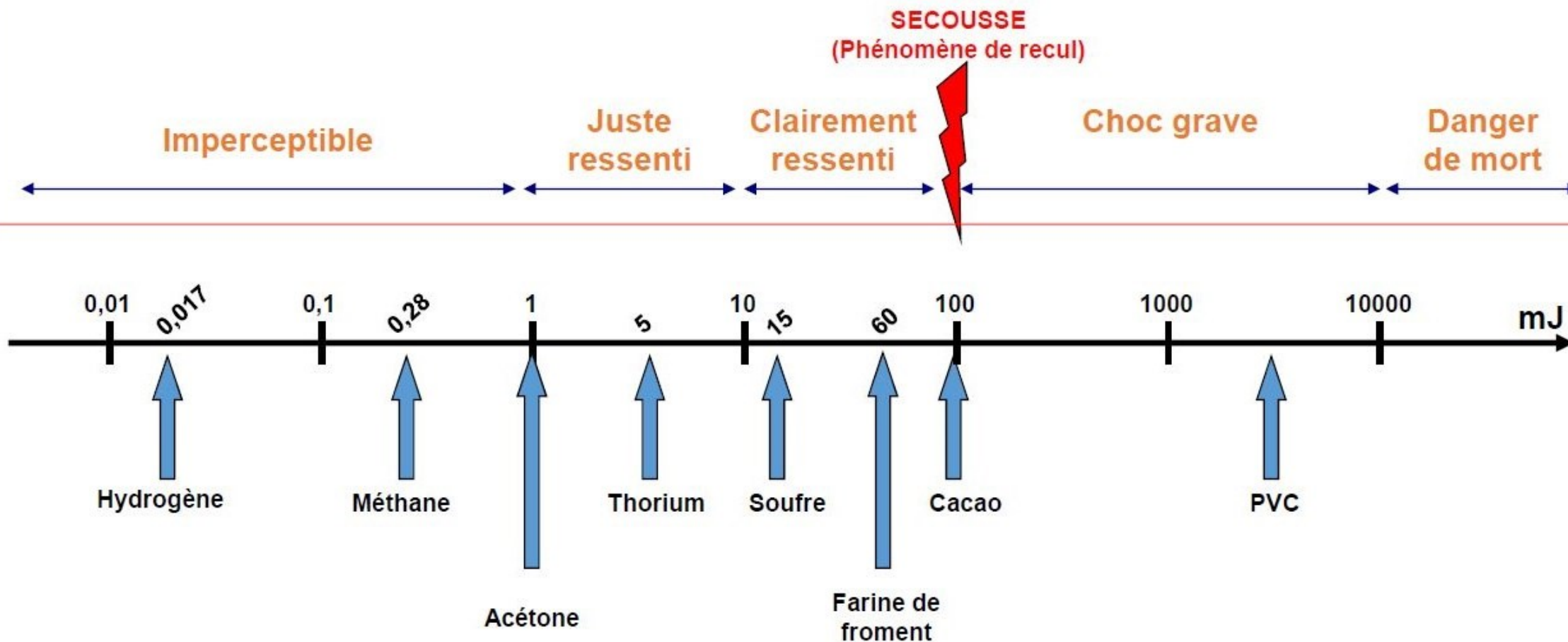
| Valeur de l'Energie Minimale d'Inflammation | Sensibilité au risque d'inflammation par un phénomène d'origine électrostatique |
|---|---|
| 1000 mJ < EMI                               | Peu sensible  |
| 30 mJ < EMI < 1000 mJ                       | Sensible  |
| 3 mJ < EMI < 30 mJ                          | Très sensible   |
| EMI < 3 mJ                                  | Extrêmement sensible  |



| Produit          | Granulométrie | EMI (mJ) |
|------------------|---------------|----------|
| Polyméthacrylate | < 250 µm      | 30 – 300 |
| Toner            | 10 µm         | < 10     |
| Sucre            | 100 % < 63 µm | < 10     |
| Aluminium        | 99 % < 71 µm  | > 10     |
| Polyéthylène     | 90 % < 125 µm | > 300    |
| Poudre de lait   | 90 % < 125 µm | > 30     |
| Blé              | 100 % < 63 µm | >100     |

## Sources d'inflammation : EMI

*Sensation provoquée par une décharge d'électricité statique en fonction de son énergie*



# TMI nuage

## NF EN 50281-2-1



| Produit                | TMI nuage (°C) |
|------------------------|----------------|
| Aluminium (27 µm)      | 520            |
| Amidon (52 µm)         | 350            |
| Céréales (50 µm)       | 520            |
| Charbon (28 µm)        | 600            |
| Farine bois (65 µm)    | 490            |
| Lait en poudre (60 µm) | 610            |
| Poudre époxy (26 µm)   | 510            |
| Polyéthylène (62 µm)   | 440            |
| Sucre (30 µm)          | 490            |
| Soufre (97 µm)         | 280            |

TMI nuage : combustibilité (inflammation directe).

Définir une température limite de surface pour un matériel installé ou mis en œuvre en atmosphère explosible :

$$T_{\text{max surface équipement}} < 2/3 \times \text{TMI}_{\text{n}}$$

# TMI couche

## NF EN 50281-2-1



| Produit                | TMI couche (°C) |
|------------------------|-----------------|
| Aluminium (27 µm)      | 410             |
| Amidon (52 µm)         | 345             |
| Céréales (50 µm)       | 300             |
| Charbon (28 µm)        | 250             |
| Farine bois (65 µm)    | 340             |
| Lait en poudre (60 µm) | 340             |
| Poudre époxy (26 µm)   | Fusion          |
| Polyéthylène (62 µm)   | Fusion          |
| Sucre (30 µm)          | 480             |
| Soufre (97 µm)         | 280             |

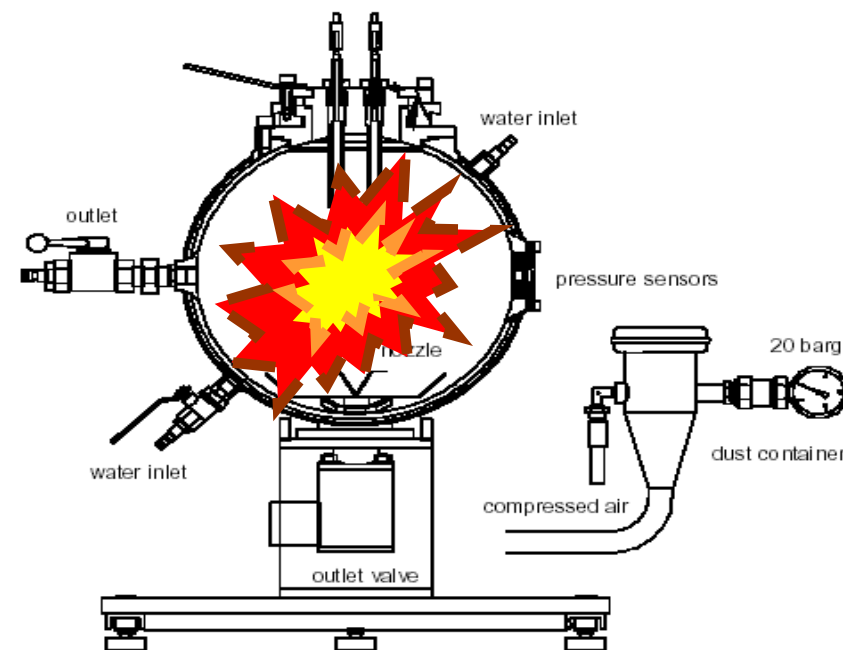
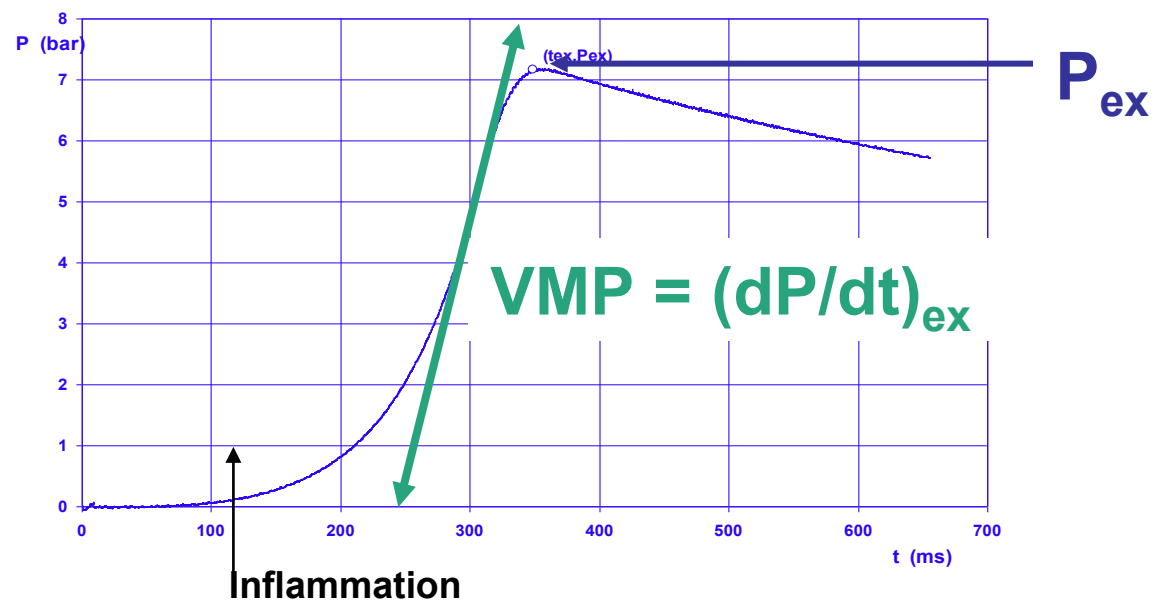
Définir une température limite de surface pour un matériel installé ou mis en œuvre en atmosphère explosible :

$$T_{\text{max surface équipement}} < \text{TMIc} - 75^{\circ}\text{C}.$$

TMI couche : combustibilité et conductivité thermique (incendie)

# Explosivité : P<sub>max</sub>, K<sub>ST</sub>, K<sub>g</sub>

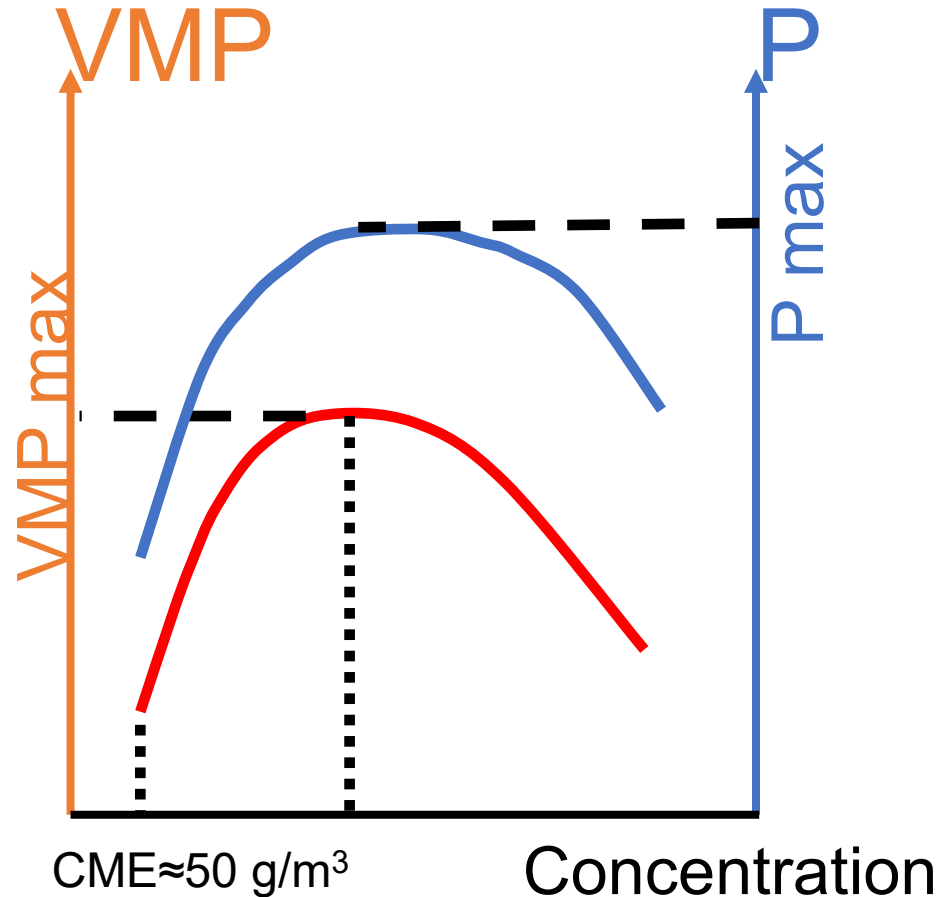
Au cours de l'explosion d'une ATEX en milieu confiné, la pression dans le confinement varie selon la courbe p(t)



Deux valeurs sont remarquables :

- la pression maximale d'explosion  $P_{ex}$ ,
- la Vitesse Maximale de montée en Pression  $(dp/dt)_{ex}$

# Explosivité : Pmax, KST, Kg



✓ Sur l'étendue du domaine d'explosivité,  $P_{ex}$  varie et présente un maximum, soit  $P_{max}$

✓ De même il existe un  $VMP_{max}$

✓  $K = VMP_{max} \cdot V^{1/3}$ , où  $V$  est le volume du récipient d'essai

✓ note :  $K$  est réputée indépendante de  $V$ , mais en fait croît avec  $V$

✓  $K_G$  : Gaz

✓  $K_{ST}$  : poussières (dust)

# Explosivité : Pmax, KST, Kg

## Classes de poussière :

|     |                     |                        |
|-----|---------------------|------------------------|
| 0   | $< K_{st} < 200$    | Classe St <sub>1</sub> |
| 200 | $\leq K_{st} < 300$ | Classe St <sub>2</sub> |
| 300 | $\leq K_{st}$       | Classe St <sub>3</sub> |

➤ Note : pour les  $K_{ST} < 45$  bar.m/s en sphère de 20 L, les poussières peuvent être non explosives en chambre 1 m<sup>3</sup>.

| Produit           | Kst (bar.m/s) | P <sub>max</sub> (bar) |
|-------------------|---------------|------------------------|
| Charbon (lignite) | 150           | 6,5                    |
| Bois (hêtre)      | 199           | 10                     |
| Soufre            | 95            | 5,5                    |
| Amidon de blé     | 135           | 8                      |
| Aluminium         | 380           | 6,5                    |
| Cacao             | 22            | 5                      |
| Sucre             | 95            | 8                      |

| Produit             | K <sub>g</sub> (bar.m/s) | P <sub>max</sub> (bar) |
|---------------------|--------------------------|------------------------|
| Acétylène           | 1 415                    | 10,6                   |
| Ammoniac            | 10                       | 5,4                    |
| Butane              | 92                       | 8                      |
| Ethane              | 106                      | 7,8                    |
| Ether éthylique     | 115                      | 8,1                    |
| Dichlorométhane     | 5                        | 5                      |
| Hydrogène           | 550                      | 6,8                    |
| Méthane             | 55                       | 7,1                    |
| Méthanol            | 75                       | 7,5                    |
| Propane             | 100                      | 7,9                    |
| Sulfure carbone     | 105                      | 6,4                    |
| Sulfure d'hydrogène | 45                       | 7,4                    |
| Toluène             | 94                       | 7,8                    |

# Cours TS01 ATEX

## Evaluation des risques ATEX



## Remarques application réglementation :

### Pour une évaluation des risques juste et réaliste

L'étude des conditions de formation et du volume des ATEX formées doit tenir compte des **phénomènes physiques** à l'origine de cette formation

le classement en zones ne doit  
ni **surdimensionner**,  
ni « **surclasser** » une zone



L'analyse de risque **de type forfaitaire** (proposée par les normes) tend à surévaluer le risque. On ne le gardera que si l'**installation est grande et répétitive** (raffinerie, pétrochimie, ...)

## Remarques application réglementation



La surévaluation des risques n'améliore parfois pas la sécurité, en plus d'être contraignante et coûteuse

La surévaluation du risque est souvent présente lorsque la demande de l'exploitant auprès de l'expert porte sur une solution « clé en main » (rédaction du DRPCE).

Note : la rédaction du DRPCE par un organisme tiers n'a aucun intérêt car l'exploitant est toujours responsable du document, il doit donc le connaître et le mettre à jour régulièrement.

## Remarques application réglementation

- Il existe un **guide de bonne pratique européen** à caractère non-contraignant, (<http://www.ineris.fr/centredoc/bonnepratique.pdf>)
- Ce guide reste dans la philosophie de la directive (=> toutes activités professionnelles sans distinction)
  - ✓ ne propose **aucune méthode/cotation** d'évaluation des risques (et encore moins de classement forfaitaire)
  - ✓ présente un **logigramme** qui présente la démarche d'évaluation des risques de façon simple et logique
  - ✓ Propose toutefois une clarification du terme "ATEX dangereuse" : >10L ou 1/10 000 du volume du local.

## Remarques application réglementation

Des normes, appliquées par des bureaux d'études, ont une optique internationale : des entreprises se trouvent en faux vis-à-vis de la réglementation nationale.

Exemple : les seuils de détection des explosimètres, où l'on trouve des entreprises qui appliquent des "1/3 LIE", des "1/2 LIE" ...

« Les emplacements nécessitant une ventilation doivent assurer une concentration de substances inflammable ne dépassant pas le 1/4 de la LIE en cas d'absence de personnel, et ne dépassant pas 1/10 de la LIE en cas de présence de personnel. »

*Circulaire du 9 mai 1985, relative au commentaire technique des décrets n°84-1093 et 84-1094 du 7 décembre 1984 concernant l'aération et l'assainissement des lieux de travail*

## Remarques application réglementation

Environnement Vs ATEX : parfois en contradiction, parfois complémentaires.

Exemples :

La ventilation, souvent seule mesure efficace pour **prévenir le risque sur les travailleurs**, est problématique pour la réglementation environnement (émission COV).

Par contre, les **mesures d'émissions de COV** (réglementation environnement) sont intéressantes pour l'ATEX car elles permettent bien souvent de **diminuer le classement** voire de **déclasser**.

## Remarques application réglementation

### Charge de batteries :

l'arrêté 2925 du 23/06/2000 et norme EN 62485-3 (2015)

l'étude ATEX est cohérente avec l'arrêté et l'analyse de risque s'appuie sur ce dernier  
des corrélations estiment la production d'hydrogène en fonction du nombre de batteries

### Appareils à gaz:

la réglementation ATEX exclue de son champ d'application les appareils à gaz  
le risque de fuite sur canalisation ou dysfonctionnement d'appareil est toutefois regardé  
respect des réglementations spécifiques

Cf. CLATEX (COMITE DE LIAISON DES APPAREILS DESTINES A ÊTRE UTILISES EN  
ATMOSPHERES EXPLOSIBLES) - Compte-rendu de la réunion du 18 novembre 2005

# Méthodologie analyse de risque

## Article R4227-46 du Code du Travail : Evaluation des risques d'ATEX

**Outils d'évaluation des risques** : grilles et descripteurs selon la **méthode INERIS** :

1. **Probabilité**  $P_{\text{explosion ATEX}} = P_{\text{apparition ATEX}} \times P_{\text{inflammation}}$
2. **Gravité** : niveaux réalistes
3. **Criticité** :  $P_{\text{expl}}$  X Gravité. Non requis par la réglementation mais préliminaire à un plan d'action (qui nécessite en plus l'évaluation de la difficulté de mise en œuvre et le coût de mise en œuvre)

La **probabilité d'apparition** d'ATEX est la **zone ATEX**.

# Méthodologie analyse de risque

**Probabilité**  $P_{\text{explosion ATEX}} = P_{\text{apparition ATEX}} \times P_{\text{inflammation}}$

| Source d'inflammation présente   | Zone 20 ou<br>0 | Zone 21 ou<br>1 | Zone 22 ou<br>2 | Non Classé |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------|
| en fonctionnement normal   | 5               | 4               | 3               | 0          |
| en cas de dysfonctionnement (matériel non ATEX, sources infl. ponctuelles ou aléatoires) | 4               | 3               | 2               | 0          |
| Très rarement (foudre sur site protégé, électricité statique générée par opérateur, ...) | 3               | 2               | 1               | 0          |

**Gravité** : niveaux réalistes

| Gravité | Description  |
|---------|--|
| 3       | décès  |
| 2       | blessure grave à légère  |
| 1       | Aucune blessure (risque domino possible toutefois, incendie notamment) |

**Criticité** :  $P_{\text{explo}} \times \text{Gravité}$ .

| Gravité d'une explosion | Probabilité d'une explosion |   |   |   |   |   |
|-------------------------|-----------------------------|---|---|---|---|---|
|                         | 5                           | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 3                       | 7                           | 6 | 5 | 4 | 3 | 0 |
| 2                       | 6                           | 5 | 4 | 3 | 2 | 0 |
| 1                       | 5                           | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |



# Méthodologie analyse de risque

Certaines mesures préventives agissent uniquement sur la probabilité de formation d'une ATEX → diminution de zone et/ou diminution du volume de la zone

Certaines mesures préventives agissent uniquement sur la probabilité d'inflammation : diminution de la probabilité d'inflammation

Certaines mesures de protection diminuent la gravité en cas d'explosion : diminution de la gravité

Certaines mesures agissent à la fois en prévention et en protection : il s'agit principalement de la diminution du volume d'ATEX par ventilation, inertage ...

## Méthode d'analyse des risques : sécurité intégrée contre les explosions

Une évaluation des risques conforme à la réglementation ATEX passe par les étapes suivantes, pour chaque procédé/poste de travail :

- ✓ Évaluer l'emplacement, la probabilité et le volume d'une ATEX,
- ✓ Evaluer la probabilité d'inflammation des ATEX formées,
- ✓ Evaluer la gravité d'une explosion de ces ATEX,
- ✓ Mettre en place des mesures techniques ou organisationnelles afin de limiter le risque ; le réévaluer.

## Dispositions pour le choix de matériel

### Critères de sélection des appareils:

(arrêté du 8 juillet 2003)

Les appareils installés en zone doivent être **conformes aux catégories** prévues par le décret n°2015-799 du 1er juillet 2015 (transposition de la directive ATEX 2014/34/UE).

zones 0 et 20 : catégorie 1 (G/D)

zones 1 et 21 : catégorie 1 ou 2 (G/D)

zones 2 et 22 : catégorie 1,2 ou 3 (G/D)

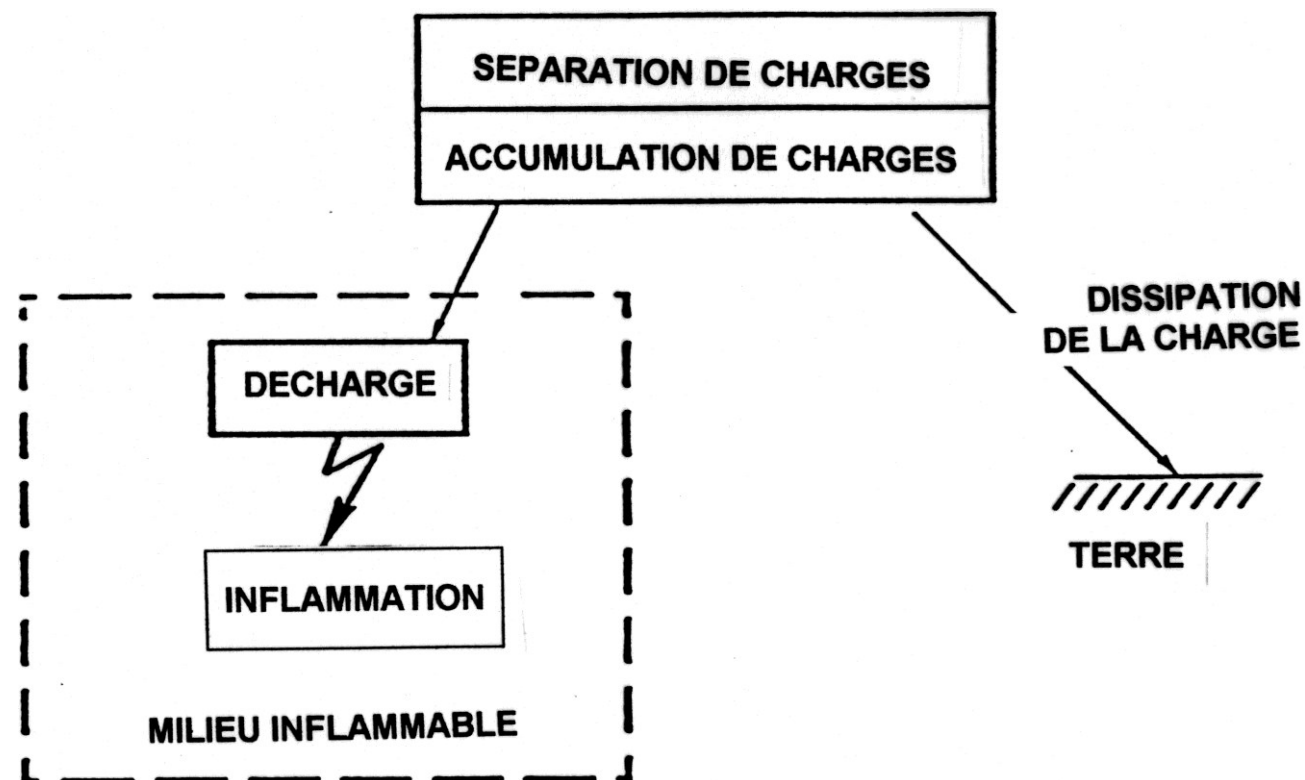
## Sources d'inflammation : cas de l'électricité statique

| Sources d'explosions de pulvérulents  | Cas identifiés (%) |
|---------------------------------------|--------------------|
| Étincelles mécaniques                 | 30,0               |
| Nids rougeoyants et auto-échauffement | 15,0               |
| Décharges électrostatiques            | 10,0               |
| Flammes                               | 9,0                |
| Echauffement mécanique                | 9,0                |
| Surfaces chaudes                      | 6,5                |
| Travaux de soudure                    | 4,4                |
| Matériels électriques                 | 3,4                |
| Indéterminées/Autres                  | 13,0               |

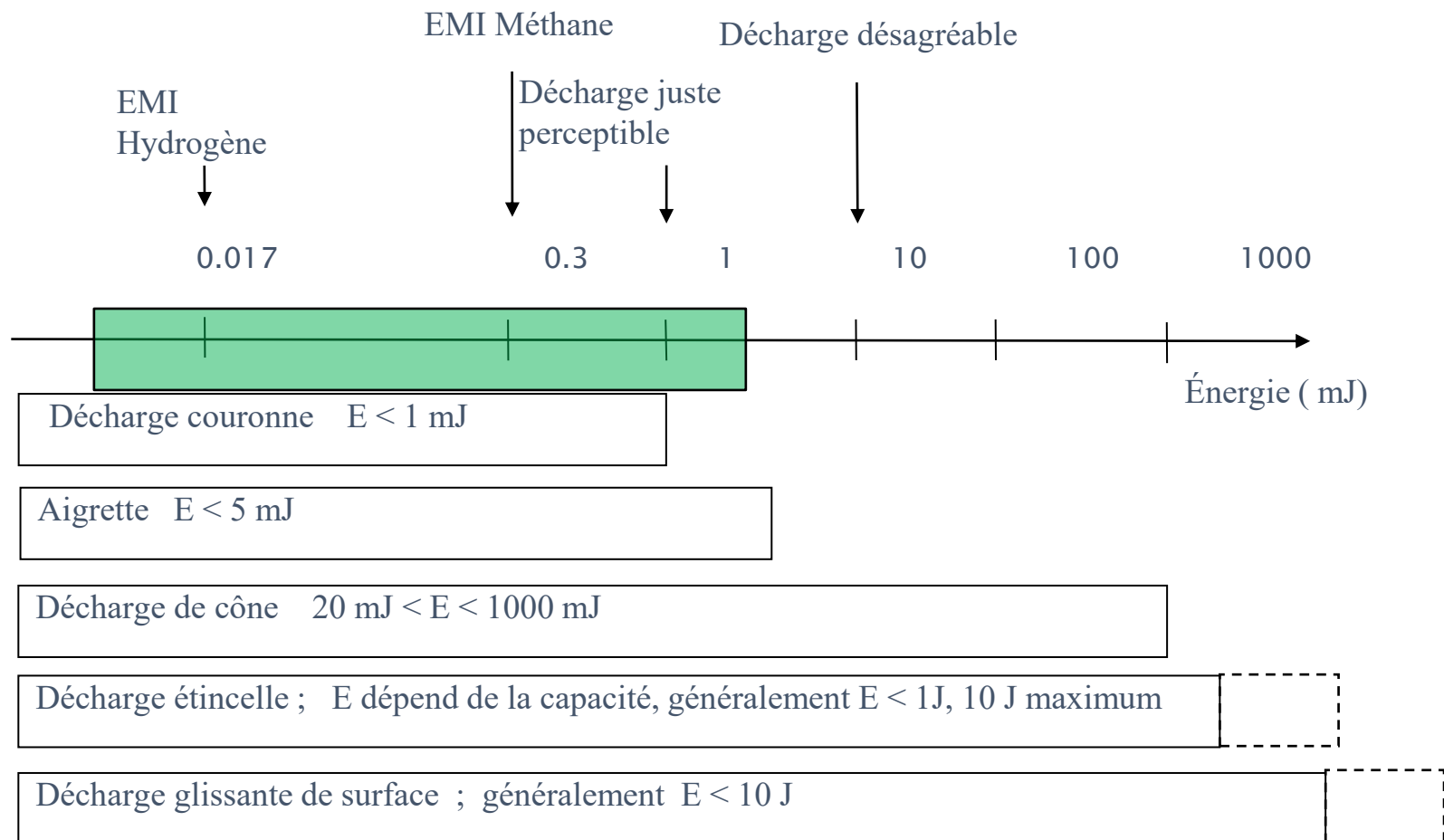
## Sources d'inflammation : cas de l'électricité statique

Phénomène dynamique

Compétition entre dissipation par rayonnement et décharge



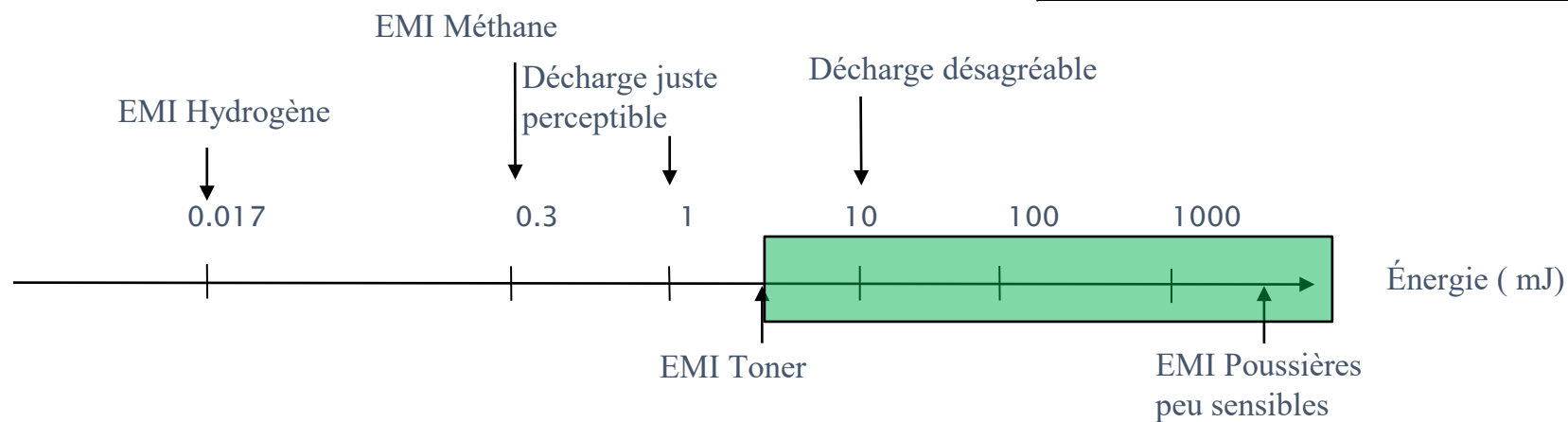
## Sources d'inflammation : EMI gaz et vapeur



Hydrogène  $17 \mu\text{J}$  /  
Ethylène  $70 \mu\text{J}$  /  
Butane  $250 \mu\text{J}$  /  
Méthane  $300 \mu\text{J}$  /  
Acetone  $1150 \mu\text{J}$

## Sources d'inflammation : EMI pulvérulents

| Produit                        | Granulométrie                                | EMI                |
|--------------------------------|--|--------------------|
| <b>Polyméthacrylate</b>        | <b>&lt; 250 <math>\mu\text{m}</math></b>     | <b>30-300 mJ</b>   |
| <b>Toner</b>                   | <b>10 <math>\mu\text{m}</math></b>           | <b>&lt;10 mJ</b>   |
| <b>Sucre</b>                   | <b>100 % &lt;63 <math>\mu\text{m}</math></b> | <b>&lt;10 mJ</b>   |
| <b>Aluminium</b>               | <b>99 % &lt;71 <math>\mu\text{m}</math></b>  | <b>&gt;10 mJ</b>   |
| <b>Polyéthylène (condensé)</b> | <b>90 % &lt;125 <math>\mu\text{m}</math></b> | <b>&gt; 300 mJ</b> |
| <b>Poudre de lait</b>          | <b>90 % &lt;125 <math>\mu\text{m}</math></b> | <b>&gt; 30 mJ</b>  |
| <b>Blé</b>                     | <b>100 % &lt;63 <math>\mu\text{m}</math></b> | <b>&gt; 100 mJ</b> |



## Sources d'inflammation : cas de l'électricité statique

| DECHARGES EN AIGRETTE               |  |
|-------------------------------------|--|
| Surfaces impliquées                 | Surface isolante chargée   |
| Conditions de décharges             | Le champ électrique est égal au champ critique du milieu environnant (3 MV/m pour l'air)   |
| Courant de la décharge              | Courant observé de quelques microampères   |
| Exemple de situations industrielles | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Décharge de surface isolantes chargées par frottement, soit de matière continue (courroie de machine), soit de manière aléatoire (coffret isolant de matériel électrique)</li> <li>• Les décharges de surfaces des liquides isolants sont un cas particulier de décharge en aigrette</li> </ul> |
| Energie et caractéristiques         | L'énergie de la décharge peut être généralement considérée comme étant inférieure à quelques mJ  |



## Sources d'inflammation : cas de l'électricité statique

### DECHARGES « CONE »

Conditions de décharges

- Poudre de résistivité élevée
- Débit de remplissage élevé
- La présence dans le pulvérulent de produits de forte granulométrie (supérieure à 100  $\mu\text{m}$ ) amplifie le phénomène

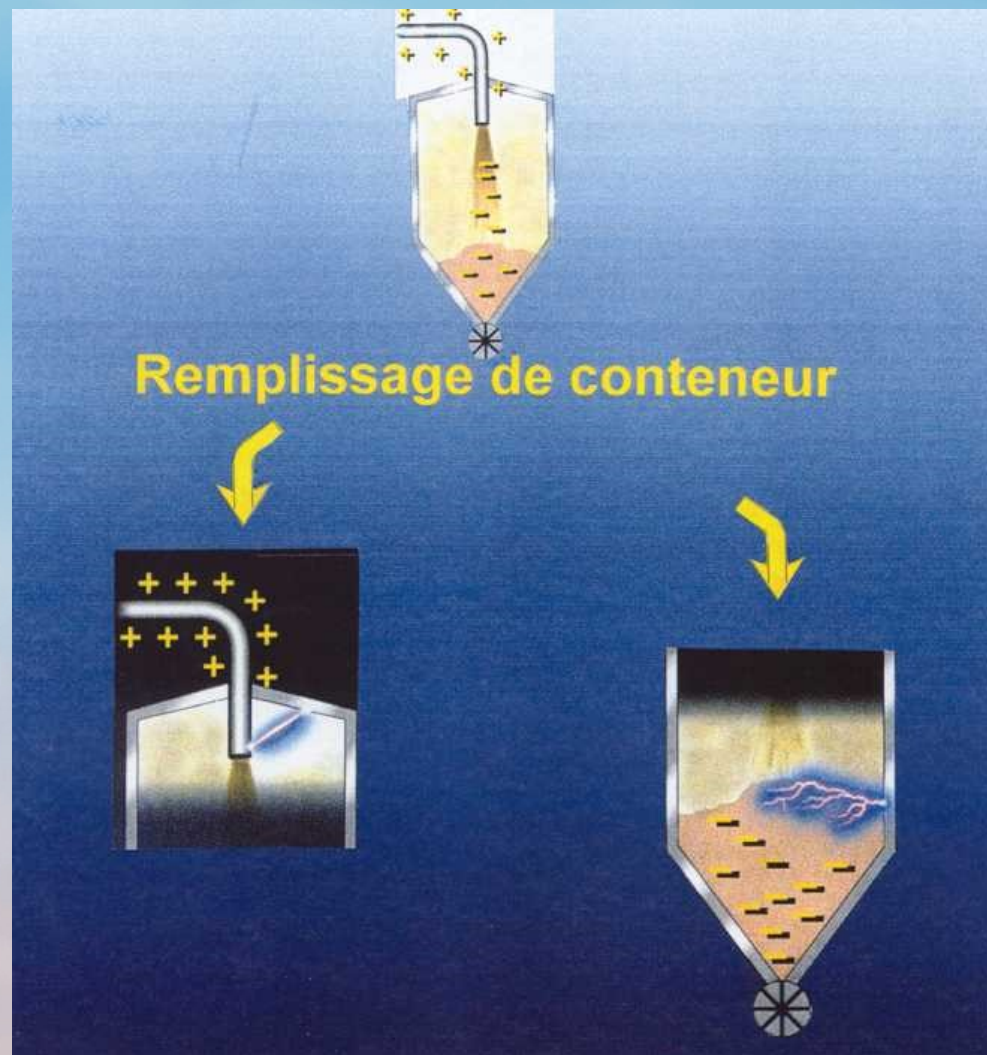
Exemple de situations industrielles

Elle se produit lors du remplissage de silos ou de conteneurs de grandes dimensions

Energie et caractéristiques

L'énergie libérée pendant la décharge dépend de la taille des particules et de la dimension du conteneur (ordre de grandeurs : quelques mJ à quelques dizaines de mJ)

# Electricité statique : décharge cône



## Sources d'inflammation : cas de l'électricité statique

| DECHARGES « ETINCELLE »             |  |
|-------------------------------------|--|
| Surfaces impliquées                 | Conducteurs (liquides ou solides)  |
| Conditions de décharges             | Le champ électrique est supérieur ou égal au champ critique du milieu environnant (3 MV/m pour l'air)  |
| Courant de la décharge              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans le cas des opérations et processus industriels, <math>I_{\max} = 10^{-4}</math> A</li> <li>• Dans le cas des opérations où la vitesse de séparation est limitée à 1m/s, <math>I_{\max} = 10^{-6}</math> A</li> </ul>   |
| Exemple de situations industrielles | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tronçon de conduite électriquement isolé qui se charge du fait de l'écoulement d'un liquide ou d'un pulvérulent dans la conduite</li> <li>• Décharge provoquée par une personne chargée d'électricité statique (charge due à la marche, à l'électrisation par influence, etc...)</li> </ul> |
| Energie et caractéristiques         | <p>L'énergie de ce type de décharge peut être calculée en connaissant la capacité C équivalente de l'élément chargé et sa tension (par rapport à la terre). Elle est donnée par la relation : <math>W = \frac{1}{2} CV^2</math></p> <p>Cette décharge laisse des traces d'érosion sur les surfaces</p>                               |

## Electricité statique : décharge étincelle



## Sources d'inflammation : cas de l'électricité statique

### DECHARGES GLISSANTES DE SURFACE

Surfaces impliquées

Conducteur revêtu d'un isolant de fine épaisseur  
(configuration en double couche)

Conditions de décharges

- Densité surfacique de charge supérieure à environ  $2,7 \cdot 10^{-5} \text{C/m}^2$
- Tension de claquage de la couche isolante supérieure à 4 kV

Exemple de situations industrielles

Transport pneumatique des poudres à grandes vitesses à travers une conduite à revêtement interne isolant

Energie et caractéristiques

L'énergie de la décharge peut atteindre plusieurs milliers de mJ et laisser des traces sur la surface

## Electricité statique : décharge glissante de surface



## Electricité statique : aptitude de la charge en fonction du procédé

| Type de transfert     | Charge spécifique (C / kg) |
|-----------------------|----------------------------|
| Tamissage             | $10^{-11}$ à $10^{-9}$     |
| Déversement           | $10^{-9}$ à $10^{-7}$      |
| Transfert par vis     | $10^{-8}$ à $10^{-6}$      |
| Broyage               | $10^{-6}$ à $10^{-7}$      |
| Micronisation         | $10^{-7}$ à $10^{-4}$      |
| Transport pneumatique | $10^{-6}$ à $10^{-4}$      |

## Sources d'inflammation : cas de l'électricité statique

| TYPE D'ETINCELLE                | CONDITION D'APPARATION  | POTENTIEL D'INFLAMMATION               |
|---------------------------------|---|--|
| Décharge Corona                 | Hétérogénéité de champ due à un effet de pointe                             | < 1 mJ                                 |
| Décharge en aigrette            | Entre une surface isolante et un objet conducteur de forme courbe           | < 5 mJ                                 |
| Décharge de talus               | Entre un dépôt de produit en tas et de forme conique et un objet conducteur | 10 mJ                                  |
| Décharges classiques            | Cas des surfaces conductrices chargées et isolées                           | Valeurs moyennes de l'ordre de 1000 mJ |
| Décharges glissantes de surface | Entre des surfaces isolantes minces recouvrant des supports conducteurs     | Valeurs moyennes de l'ordre de 1000 mJ |



## Electricité statique : mesures pour éviter l'apparition de décharges ES

### Type de décharge considéré

### Exemple de mesures destinées à éviter l'apparition de décharges d'origine électrostatique

Etincelle

- Réaliser l'équipotentialité et la mise à la terre des éléments conducteurs électriquement isolés,
- Utiliser des chaussures permettant la dissipation des charges électrostatiques et vérifier que le sol des zones à risque d'explosion est suffisamment conducteur pour permettre la dissipation des charges électrostatiques

Décharge en aigrette

- Proscrire l'utilisation de matériels isolants
- Utiliser des additifs anti-statiques
- Limiter les vitesses

## Electricité statique : mesures pour éviter l'apparition de décharges ES

### Type de décharge considéré

### Exemple de mesures destinées à éviter l'apparition de décharges d'origine électrostatique

Décharge glissante de surface

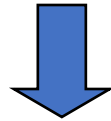
- Utiliser des tuyaux conducteurs, conduits d'aspiration, etc., conducteurs
- Limiter l'utilisation des matériaux non homogènes, tels que les canalisations en matériaux composites (conducteurs /isolants)
- Ne pas utiliser des matériaux isolants ayant une tension de claquage supérieure à 4 kV

Décharge de cône

Dans l'état actuel des connaissances, il n'y a pas de mesures permettant d'éviter ce type de décharges

## Prévention et protection

1. Prévention de la **formation des ATEX** par la **ventilation ou l'aspiration** à la source et par un contrôle de l'atmosphère des locaux



2. Prévention de la **formation des ATEX** par **inertage**



3. Prévention de l'**inflammation des ATEX** par la **suppression** de toutes les sources d'inflammation actives (y compris celles d'origine électrostatique)

## Prévention et protection

### Protection contre les effets des explosions au moyen de différents systèmes

- Résistance à la pression maximale d'explosion,
- Events d'explosion,
- Suppresseurs d'explosion,
- Systèmes d'isolement,
- Arrête-flammes

Utilisation de **détecteurs** (mise en repli) et d'**alarmes**

## Prévention des explosions d'ATEX

Ordre préférentiel (de la méthode la plus vers la moins fiable) :

- 1- Action sur le combustible
- 2- Action sur les sources d'inflammation
- 3- Action sur le comburant

## Prévention des explosions d'ATEX

### Actions sur le **combustible** :

- Ventilation des locaux (vapeurs/gaz),
- Aspiration à la source (vapeurs/gaz/pulvérulents),
- Fermeture des récipients (vapeurs),
- Conservation à une température inférieure à la TLIE (vapeurs),
- Mise en place de bacs de rétention (vapeurs),
- Nettoyage régulier des installations (poussières).

## Prévention des explosions d'ATEX

### Actions sur les **sources d'inflammation** :

- Choix des équipements électriques, mécaniques et électromagnétiques (cf. [partie réglementaire](#)),
- Maîtrise des décharges électrostatiques,
- Permis de feu, autorisations de travail,
- La détection / mise en repli : emploi d'explosimètres

## Prévention des explosions d'ATEX

### Actions sur les **sources d'inflammation** :

- La **suppression** de toutes les sources d'inflammation actives permet d'**empêcher** les explosions d'ATEX
- La mise en œuvre de ce principe consiste à n'installer **en zone dangereuse** que des **matériels** électriques et non-électriques certifiés ATEX
- La **prévention** des **décharges électrostatiques** demeure cependant **difficile**, d'autant qu'elle peut mettre en cause les opérateurs



## Prévention des explosions d'ATEX

### Actions sur le **comburant** :

- La suppression du comburant est une méthode courante : c'est l'inertage,
- Il consiste à limiter la teneur d'une atmosphère en comburant, en utilisant un gaz inerte,
- Les gaz inertes ne participent pas à la réaction d'oxydation,
- Ils sont portés à la température de la flamme. Plus ils sont abondants, plus la flamme est refroidie : si leur concentration est suffisante il n'y a pas de propagation de la flamme et donc pas d'explosion possible

## Prévention des explosions d'ATEX

### Actions sur le **comburant** :

Inertage de l'enceinte ( $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , Ar...),

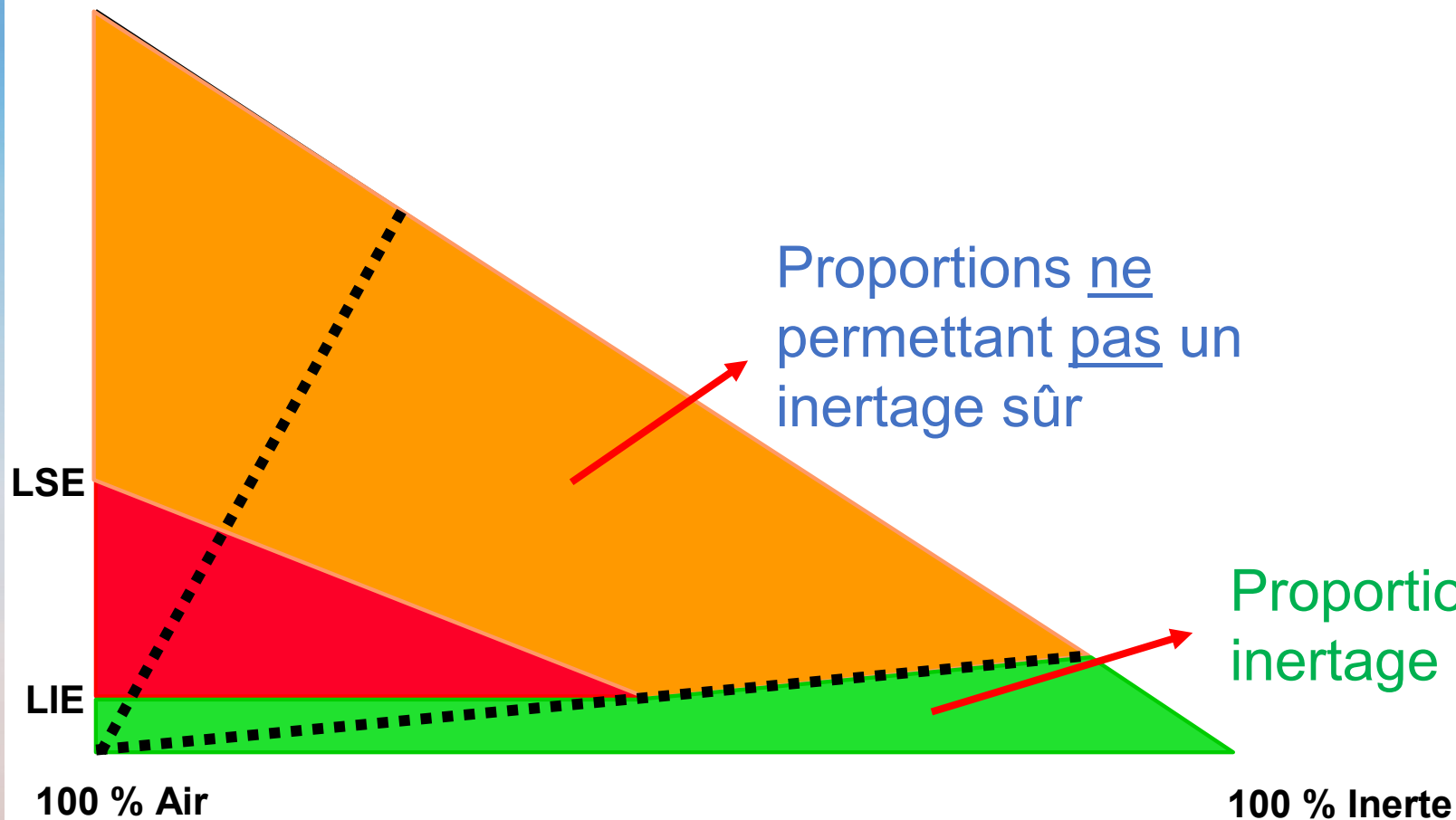
En **dernier recours** (risque d'anoxie, coûteux, appareil clos, contrôle de la teneur en  $O_2$ , mise en repli sur alerte),

Teneur Limite en Oxygène (TLO ou CLO) en deçà de laquelle le mélange n'est plus inflammable.

|                    | <i>TLO avec <math>N_2</math></i> | <i>TLO avec <math>CO_2</math></i> |
|--------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Acétone :</i>   | <b>11%</b>                       | <b>13,5%</b>                      |
| <i>Essence :</i>   | <b>11%</b>                       | <b>13,5%</b>                      |
| <i>Éthanol :</i>   | <b>10 %</b>                      | <b>12,%</b>                       |
| <i>Hydrogène :</i> | <b>4,5%</b>                      | <b>7%</b>                         |
| <i>Méthane :</i>   | <b>11,5%</b>                     | <b>14%</b>                        |
| <i>Méthanol :</i>  | <b>9,5%</b>                      | <b>12%</b>                        |

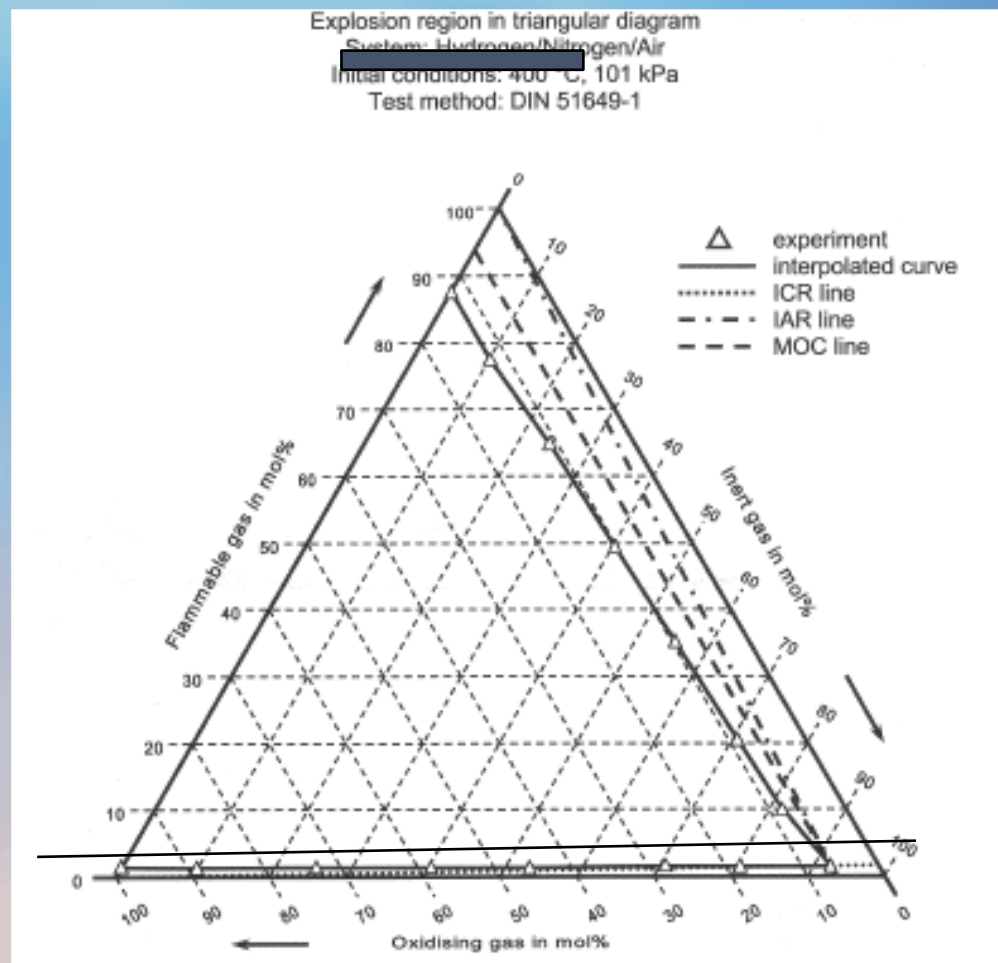
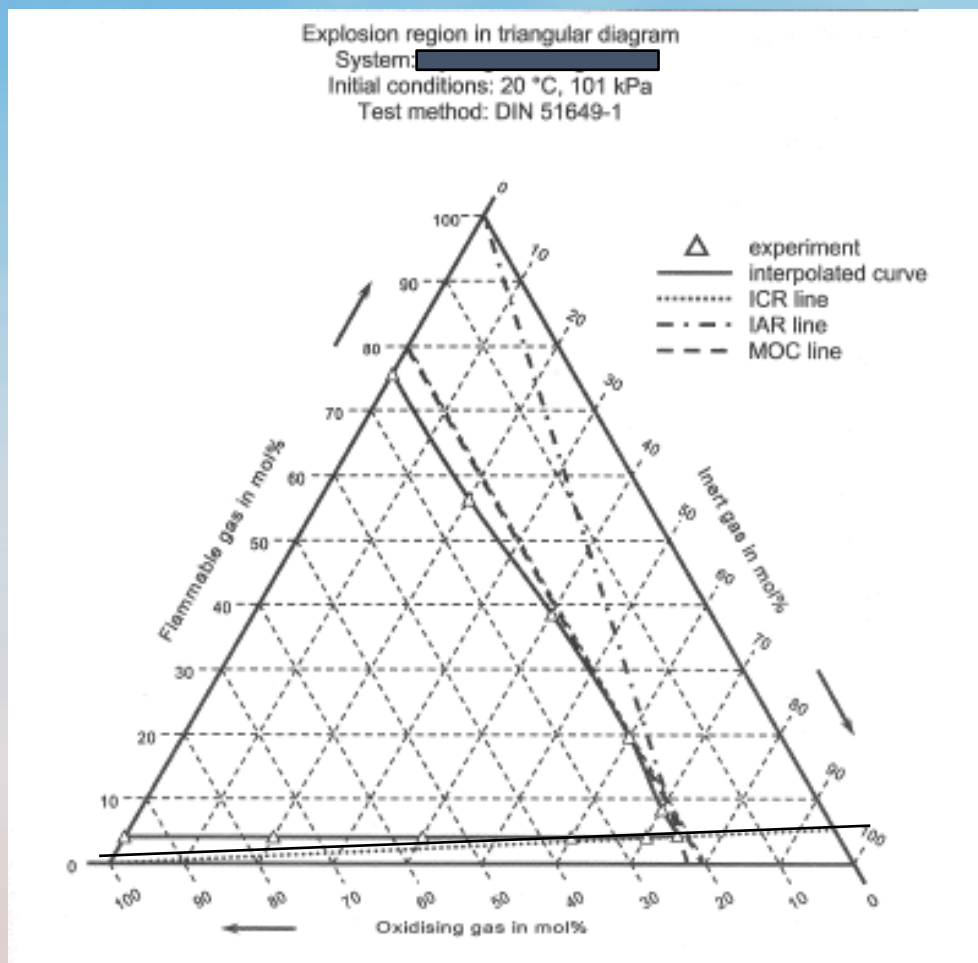
## Prévention des explosions d'ATEX : inertage

100 % Combustible



Les conditions de teneur en oxygène permettant de garantir l'inertage d'une atmosphère s'obtiennent à partir du diagramme triangulaire du système combustible/air/inerte.

# Prévention des explosions d'ATEX : inertage



## Protection contre les explosions d'ATEX

Ordre préférentiel (de la méthode la plus vers la moins fiable) :

- 1- Action sur le combustible
- 2- Action sur les sources d'inflammation
- 3- Action sur le comburant

## Protection contre les explosions d'ATEX

Résistance des appareils à la pression maximale d'explosion

Événements d'explosion

Suppression d'explosion

Arrête flammes

Isolation (découplage) des installations

Isolation des équipements / bâtiments

## Protection contre les explosions d'ATEX

### Confinement résistant à la surpression :

- Le confinement doit être capable de résister à la pression maximale  $P_{ex}$  développée par l'explosion
- Ceci suppose de savoir évaluer précisément  $P_{ex}$
- Ce principe ne peut convenir que pour des confinements de faible volume (quelques dizaines de litres)

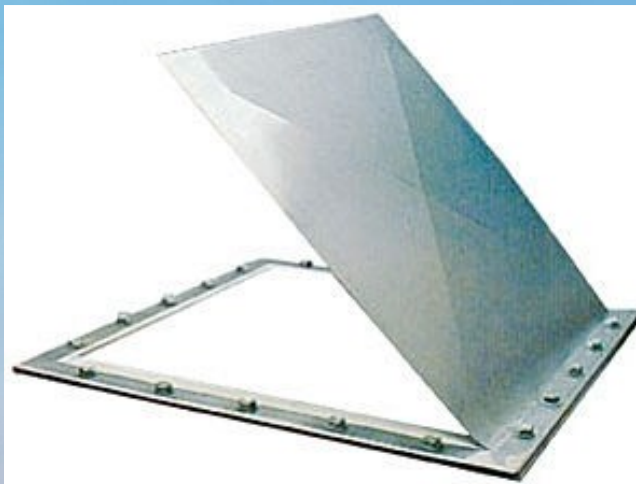
# Protection contre les explosions d'ATEX

## Event d'explosion

- Le principe consiste à **limiter la pression** dans un confinement par une explosion, en **déchargeant vers un emplacement sécurisé** (libre de tout obstacle, potentiels projectiles, circulation de personnel, équipement sensible, ...) une partie des gaz d'explosion à travers un orifice fermé le reste du temps (événement d'explosion), éventuellement prolongé d'une canalisation.
- La **pression résiduelle**  $P_{red}$  ne doit pas dépasser la pression maximale admissible dans le confinement



# Protection contre les explosions d'ATEX



# Protection contre les explosions d'ATEX

## Event d'explosion : dimensionnement

Norme NF EN 14491

$K_{ST}, K_G$

Volume  $V$  de l'enceinte

Résistance mécanique de l'enceinte

Importance de la turbulence

Pression statique d'ouverture de l'évent

Longueur de la canalisation prolongeant l'évent

## Protection contre les explosions d'ATEX

### Suppresseur d'explosion

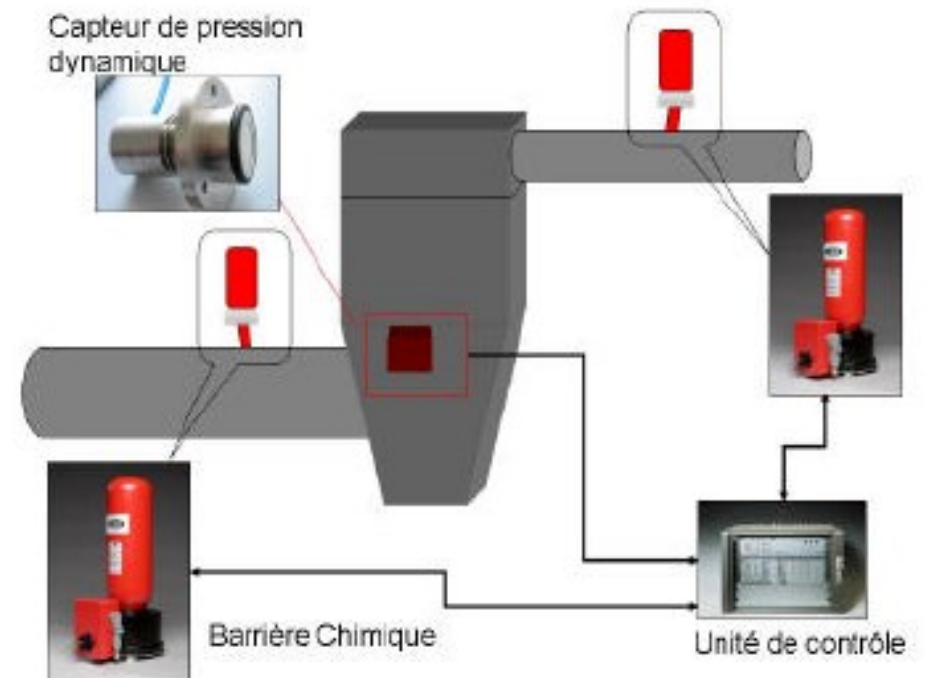
- Un **suppresseur** d'explosion est un **système d'extinction très rapide** (opère en quelques dizaines de ms seulement) injectant de la **poudre** ou de l'**eau** micronisée **en amont** d'une explosion
- Le déclenchement du système d'extinction est actionné dès qu'un **système de détection** associé (optique ou manométrique) repère l'amorçage **d'une explosion**

# Protection contre les explosions d'ATEX

## Suppresseur d'explosion

Les caractéristiques d'un suppresseur dépendent :

- du volume du confinement  $V$ ,
- de la pression de déclenchement du suppresseur,
- de la pression maximale admissible dans le confinement
- des caractéristiques d'explosivité de l'ATEX



# Protection contre les explosions d'ATEX

## Système d'isolement

Un système d'isolement permet **d'empêcher la propagation** de la flamme d'une explosion

Il est installé dans une **canalisation** qui relie **deux parties** d'une même installation

On distingue les familles de système d'isolement suivant:

- les arrête-flammes
- les vannes d'isolement
- les écluses rotatives

# Protection contre les explosions d'ATEX

## Arrête-flamme

Un arrête-flamme (AF) est un système passif qui permet d'arrêter la flamme se propageant dans une ATEX gazeuse contenue dans une canalisation



## Protection contre les explosions d'ATEX

### Arrête-flamme

Le principe de fonctionnement d'un AF repose sur le **coincement des flammes** (extinction de la flamme lors de son passage dans l'interstice)

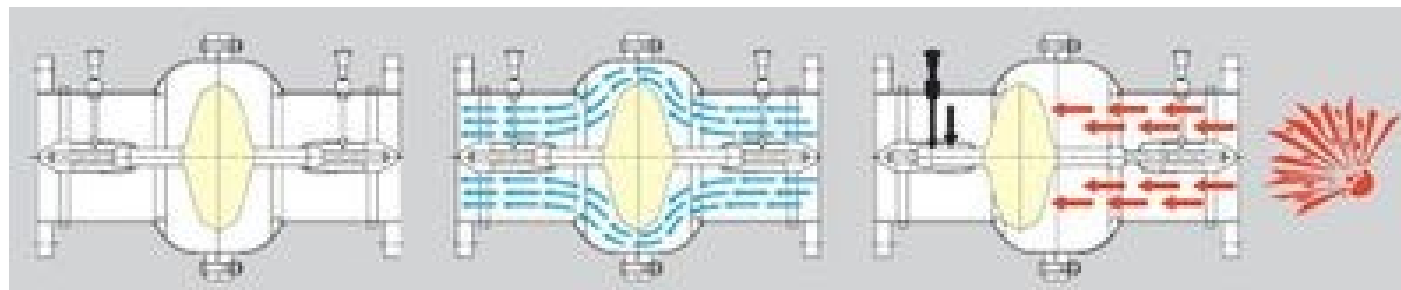
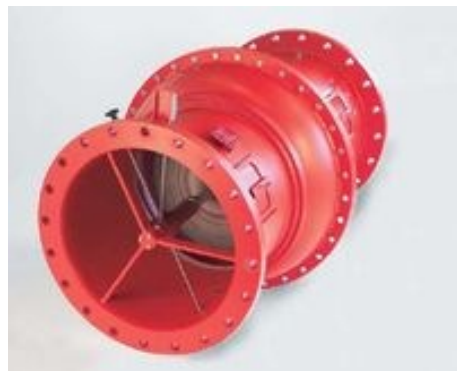
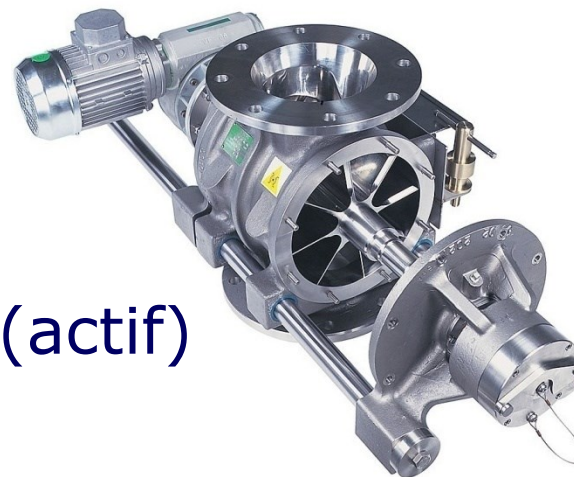
La hauteur du triangle élémentaire est liée à la valeur de l'IEMS (interstice maximal expérimental de sécurité) de l'ATEX considérée (= à chaque substance susceptible de former une ATEX il existe une distance de coincement)

# Protection contre les explosions d'ATEX

## Vannes d'isolement

On distingue :

1. Les vannes guillottes à fermeture rapide (actif)
2. Les vannes passives VENTEX (passif)
3. Les écluses rotatives (passif)





# Normes harmonisées sur les systèmes de protection et de non propagation d'explosion ATEX

**Atmosphères explosives - Prévention de l'explosion et protection contre l'explosion :  
Norme EN 1127.**

**Atmosphères explosibles : Termes et définitions pour les appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés  
en atmosphères explosibles : norme EN 13237.**

**Appareils non électriques destinés à être utilisés en atmosphères explosives : série des normes EN 13463 (Mars 2016 :  
ISO 80079)**

**Systèmes de suppression d'explosion : norme EN 1437.**

**Appareil résistant à l'explosion : norme EN 14460.**

**Systèmes de protection par évent contre les explosions de poussières : norme EN 14491.**

**Dispositifs de décharge d'explosion : norme EN 14797.**

**Systèmes de protection par évent contre les explosions de gaz : norme EN 14994.**

# Normes harmonisées sur les systèmes de protection et de non propagation d'explosion ATEX

**Systèmes d'isolement d'explosion : norme EN 15089.**

**Dispositifs de décharge d'explosion sans flamme : norme EN 16009.**

**Dispositifs déviateurs d'explosion : norme EN 16020.**

**Vanne à clapet d'isolation d'explosion : norme EN 16447.**

**Arrête-flammes : Exigences de performance, méthode d'essai et limite d'utilisation : norme EN ISO 16852.**

**Appareils électriques destinés à être utilisés en atmosphères explosives : série des normes EN 60079 (ATEX gaz et vapeur) et série des normes EN 61241 (ATEX poussières).**

## Mesures organisationnelles

### Exemples :

**Formation des travailleurs** exposés aux risques d'explosion

**Instructions écrites** et autorisation d'exécuter certains travaux (procédures, permis de feu ...)

**Consignes** (nettoyage, maintenance préventive, contrôle régulier, coordination des travaux...)

# Articles 5 et 6 de l'arrêté du 8 juillet 2003 : relatif à la protection des travailleurs susceptibles d'être exposés à une atmosphère explosive

## Exemples :

**Formation des travailleurs** exposés aux risques d'explosion

**Instructions écrites** et autorisation d'exécuter certains travaux (procédures, permis de feu ...)

**Consignes** (nettoyage, maintenance préventive, contrôle régulier, coordination des travaux...)

# Signalisation des emplacements

Conformément à l'arrêté du 4 novembre 1993 modifié par l'arrêté du 8 juillet 2003 :

- A pour **but d'éviter l'inflammation** accidentelle (à l'intérieur du volume de l'ATEX donc) mais peut être en pratique étendu (périmètre de protection ou d'avertissement)
- Peut être complété d'information (zone, procédures, ...)



## Mesures organisationnelles

Le code du travail ne reconnaît pas la notion de « **risque acceptable** » (ni en probabilité ni en gravité)

Il faut donc (théoriquement) remédier à toute situation où il existe un risque d'explosion d'une ATEX, pour laquelle un travailleur se trouve exposé à un risque de blessure, même légère

En pratique le risque zéro n'existe pas et les mesures mises en place doivent être réalistes.

## Document **R**elatif à la **P**rotection **C**ontre les **E**xplosions

Il doit faire **apparaître**, entre autres (art. R.4247-52) :

1. Que les **risques** d'explosion ont été **déterminés et évalués**
2. Que des **mesures adéquates seront prises** pour atteindre les objectifs de protection (mesures techniques et/ou organisationnelles)
3. Quels sont **les emplacements classés en zones**

## Document unique : DRPCE : sommaire type

1. Rappel réglementaire (but de la réglementation et du document)
2. Désignation des responsables (pour demande d'informations complémentaires)
3. Description des installations, productions, déchets produits, volumes/fréquence de production ...
4. Liste des produits combustibles (mis en œuvre, produits ou sous produits) et leur propriétés de combustibilité et d'inflammabilité
5. Évaluation des risques (probabilité, gravité d'explosion d'ATEX)
6. Classement en zones ATEX (probabilité d'apparition d'ATEX)
7. Adéquation du matériel aux zones
8. Mesures techniques de prévention, détection et protection
9. Mesures organisationnelles de prévention et protection
10. Annexes : Caractérisation des produits, retour d'expérience, accidents répertoriés, mesures complémentaires prises, formation du personnel, ...



## Document unique : DRPCE

### **Révisé** régulièrement en cas de modification significative :

- Du procédé
- Du mode opératoire
- Du produit mis en œuvre
- (Eventuellement) des quantités produites ou de la fréquence d'utilisation
- Des consignes opératoires et des formations du personnel
- ...

*Pas de périodicité définie (mise à jour en continu et à minima 1 fois par an)*

# TD TS01 ATEX

## Etudes de cas

# TD TS01 ATEX

## Vidéo méthodologie

## Présentation d'un cas concret : Papier d'Arménie (2017)



## Présentation d'un cas concret : Papier d'Arménie (2017)

- Papier d'Arménie : présenté sous forme de carnet vert et jaune utilisé comme parfum d'intérieur
- Usine de Montrouge : seule production en France (15 % exporté)
- 10 salariés en 2016



Source : Papier d'Arménie.fr

## Présentation d'un cas concret : Papier d'Armenie (2017)

- Explosion d'une étuve de séchage de papier imprégné d'une solution à base d'éthanol
- 9 salariés présents, évacués
  - Salariés piégés au 1<sup>er</sup> étage : cheminement sur un toit en passant par une fenêtre
- 2 blessés graves (brûlures) et 3 blessés légers
- 1 école et 60 riverains confinés
- Salariés de production au chômage technique durant plusieurs mois
- Rez-de-chaussée détruit



## Présentation d'un cas concret : Papier d'Arménie (2017)

- Broyage de résine de benjoin, mélangé à de l'éthanol dans 29 cuves agitées manuellement 1 fois / jour, maturation 2 mois



- Imprégnation de feuilles de papier d'une solution aqueuse de nitrate de potassium par trempage
- Séchage à l'air libre



## Présentation d'un cas concret : Papier d'Armenie (2017)

- Imprégnation du papier de la solution d'éthanol parfumée
- Séchage en étuve (40 à 60 °C), condensation des vapeurs à l'extraction et recyclage partiel de l'air



Source :  
Rapport de  
visite, G. Blandin

Etuves en inox avec bras amovible pour accrocher les feuilles

Pressage, découpe, assemblage et emballage du papier



## Présentation d'un cas concret : Papier d'Armenie (2017)

- ATEX éthanol/air à l'intérieur de l'étuve et dans les conduits d'extraction ?
- Source d'inflammation : ventilateur d'extraction (remplacement le 27/01/17) ? Non certifié ATEX et intervention de maintenance précédant l'explosion



Source :  
Rapport de  
visite, G. Blandin

## Charge de batteries



| Type de batterie      | Batteries ouvertes au plomb |        |
|-----------------------|-----------------------------|--------|
| Courant d'électrolyse | 140 A                       |        |
| Tension               | 48 V                        |        |
| Nombre de chargeurs   | 22                          | 4      |
| Volume d'électrolyte  | 7 L                         | 6 L    |
| Nombre d'éléments     | 24 éléments de 2V chacun    |        |
| Capacité nominale     | 775 Ah                      | 625 Ah |

## Charge de batteries

- 1. Quels sont les scénarios de formation d'ATEX ?**
- 2. Quels sont les sources d'inflammation ?**
- 3. Quelles sont les mesures à mettre en place pour éviter la formation d'ATEX ?**

## Charge de batteries

En **fonctionnement normal**, les risques sont principalement :

- en fonctionnement normal, une ATEX se forme à **proximité immédiate de l'orifice** par lequel l'hydrogène est émis au cours de la recharge ;
- une ATEX peut se former à **l'intérieur du local de charge**, par **accumulation d'hydrogène**, dégagé au cours de la charge.

Les **sources d'inflammation** potentielles identifiées sont :

- la création d'**étincelles d'origine électrostatique** lors de la charge liés notamment aux interventions du personnel ;
- la présence de **matériels non certifiés ATEX** et/ou sans marquage adéquat.

## Charge de batteries

Il n'est pas possible d'éviter la formation d'une ATEX constituée d'un mélange air-hydrogène, qui se forme à proximité immédiate de l'orifice par lequel l'hydrogène est émis au cours de la recharge, mais il est possible d'affirmer que si le local est suffisamment ventilé à l'air frais : aucune de ces ATEX n'est dangereuse et qu'il n'est pas possible qu'une ATEX dangereuse se forme par accumulation.

### Quel est le débit de ventilation à mettre en œuvre pour éviter l'accumulation d'H<sub>2</sub> ?

L'arrêté type 2925 de la nomenclature des Installations Classées fournit la relation qui permet de calculer le débit minimal d'air de ventilation nécessaire pour éviter l'accumulation d'une ATEX dangereuse dans ce local pour les batteries.

Pour les batteries dites ouvertes nous proposons d'utiliser la formule de la NF EN 62485-3 :2015-01 qui est analogue à celle indiquée dans l'arrêté type 2925 de la réglementation des installations classées :  **$Q=0,055.n.I_{gas}$**  Où Q = débit d'air minimal de ventilation en m<sup>3</sup>/h ; n = nombre total d'éléments de batteries en charge simultanément ; I<sub>gas</sub> = courant d'électrolyse en A.

## Charge de batteries

### Détermination de $I_g$

Nous avons pris le cas majorant ici en l'absence d'information sur la régulation du chargeur : le cas d'un chargeur non régulé.

Sur ces chargeurs, le courant en fin de charge n'est pas connu avec certitude,  $I_{gas}$  est fixé à 40 % du courant de sortie assigné au chargeur  $I_n$ .

$$I_{gas} = 0,4 \times I_n \text{ [A]}$$

| Nom            | type     | Puissance | Tension batterie | Courant de sortie max |
|----------------|----------|-----------|------------------|-----------------------|
| TC3 LT MODULAR | Triphasé | 7 kW      | 48V              | 120Adc                |

## Charge de batteries

**Encas d'application de choix d'un débit de ventilation inférieur à 1 650 Nm<sup>3</sup>/h ou si le débit n'est pas pérenne, nous proposons de retenir une zone 2 à l'intérieur du local.**

| Nombre de batteries<br>N | Nombre d'éléments d'une batterie | $I_{\text{gas}}$<br>courant d'électrolyse en A | Q<br>débit minimal de ventilation requis<br>Nm <sup>3</sup> /h |
|--------------------------|----------------------------------|--|--|
| 26                       | 24                               | 48   | 1650   |

## Charge de batteries

Des mesures de maîtrise des risques pour réduire le risque de formation d'ATEX :

### *Prévention de la formation d'ATEX*

- un **système de ventilation mécanique** contrôlé qui fonctionne en permanence ;
- un **système de détection d'hydrogène positionné au plafond** asservi à l'arrêt des puissances de charges à l'atteinte de 20% de la LIE ;

### *Prévention des sources d'inflammation*

- la **mise à la terre des châssis** pour éliminer les charges électrostatiques ;
- le **positionnement à l'extérieur du groupe ventilateur** ;
- la **formation des opérateurs** au changement de batterie.



## Chaufferie selon la norme 60079 - 10 - 1

La chaufferie alimentant le bâtiment administratif est située dans ce même bâtiment. Elle est équipée d'une chaudière à condensation au gaz. L'alimentation en gaz naturel est effectuée en canalisation DN 20 et de pression 3 bar.

Le local est ventilé par une ouverture de diamètre 100 mm qui est reliée de façon continue par une gaine débouchant à l'extérieur.

Le local ne contient pas de système de détection méthane.

**Quel emplacement dangereux sont présents dans le local?**

**Quel classement est retenu?**

**Pourriez vous évaluer la criticité?**

## Chaufferie selon la norme 60079 - 10 - 1

### **Chaudières**

Les chaudières en elles-mêmes doivent être conformes aux normes en vigueur et entretenues régulièrement.

Moyennant le respect de ces exigences => d'emplacement dangereux au sens de la réglementation ATEX au sein de la chaudière elle-même.

### **Fuites sur un presse-étoupe de vanne ou canalisation**

Le scénario de formation d'ATEX a lieu en cas de fuite d'un raccord ou d'un presse-étoupe de vanne sur le réseau de gaz naturelle.

## Chaufferie selon la norme 60079 - 10 - 1

| Degré de dégagement           | Efficacité de la ventilation            |   |                                 |                  |                 |                 |                                    |
|-------------------------------|---|---|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|
|                               | Dilution élevée                         |   |                                 | Dilution moyenne |                 |                 | Dilution faible                    |
|                               | Disponibilité de la ventilation         |   |                                 |                  |                 |                 |                                    |
|                               | Bonne                                   | Assez bonne                             | Médiocre                        | Bonne            | Assez bonne     | Médiocre        | Bonne, assez bonne ou médiocre     |
| <b>Continu</b>                | Non dangereuse (Zone 0 EN) <sup>a</sup> | Zone 2 (Zone 0 EN) <sup>a</sup>         | Zone 1 (Zone 0 EN) <sup>a</sup> | Zone 0           | Zone 0 + Zone 2 | Zone 0 + Zone 1 | Zone 0                             |
| <b>Primaire</b>               | Non dangereuse (Zone 1 EN) <sup>a</sup> | Zone 2 (Zone 1 EN) <sup>a</sup>         | Zone 2 (Zone 1 EN) <sup>a</sup> | Zone 1           | Zone 1 + Zone 2 | Zone 1 + Zone 2 | Zone 1 ou zone 0 <sup>c</sup>      |
| <b>Secondaire<sup>b</sup></b> | Non dangereuse (Zone 2 EN) <sup>a</sup> | Non dangereuse (Zone 2 EN) <sup>a</sup> | Zone 2                          | Zone 2           | Zone 2          | Zone 2          | Zone 1 et même Zone 0 <sup>c</sup> |

### Disponibilité « Bonne »

la ventilation existe pratiquement en permanence.

### Disponibilité « Assez Bonne »

la ventilation est censée être présente pendant le fonctionnement normal. Des interruptions sont permises, pourvu qu'elles se produisent de façon peu fréquente et pendant de courtes périodes.

### Disponibilité « Médiocre »

la ventilation ne satisfait pas aux normes de bonne ou d'assez bonne ventilation ; toutefois, des interruptions prolongées ne sont pas prévues.

## Chaufferie selon la norme 60079 - 10 - 1

| N° | Description  | Emplacement                 | Degré de dégagement | Ventilation |                   |               | Type de zone | Etendue de la zone          |
|----|--|-----------------------------|---------------------|-------------|-------------------|---------------|--------------|-----------------------------|
|    |  |                             |                     | Type        | Degré de dilution | Disponibilité |              |                             |
| 1  | Chaufferie du bâtiment administration et poste d'arrivée de gaz de ville | Local ou intérieur du poste | Secondaire          | Naturelle   | Faible            | Médiocre      | 1            | Local ou intérieur du poste |

## Chaufferie selon la norme 60079 - 10 - 1

### 1 – Probabilité explosion

| Source d'inflammation présente   | Zone 20 ou<br>0 | Zone 21 ou<br>1 | Zone 22 ou<br>2 | Non Classé |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------|
| en fonctionnement normal   | 5               | 4               | 3               | 0          |
| en cas de dysfonctionnement (matériel non ATEX, sources infl. ponctuelles ou aléatoires) | 4               | 3               | 2               | 0          |
| Très rarement (foudre sur site protégé, électricité statique générée par opérateur, ...) | 3               | 2               | 1               | 0          |

### 2 – Gravité

| Gravité | Description  |
|---------|--|
| 3       | décès  |
| 2       | blessure grave à légère  |
| 1       | Aucune blessure (risque domino possible toutefois, incendie notamment) |

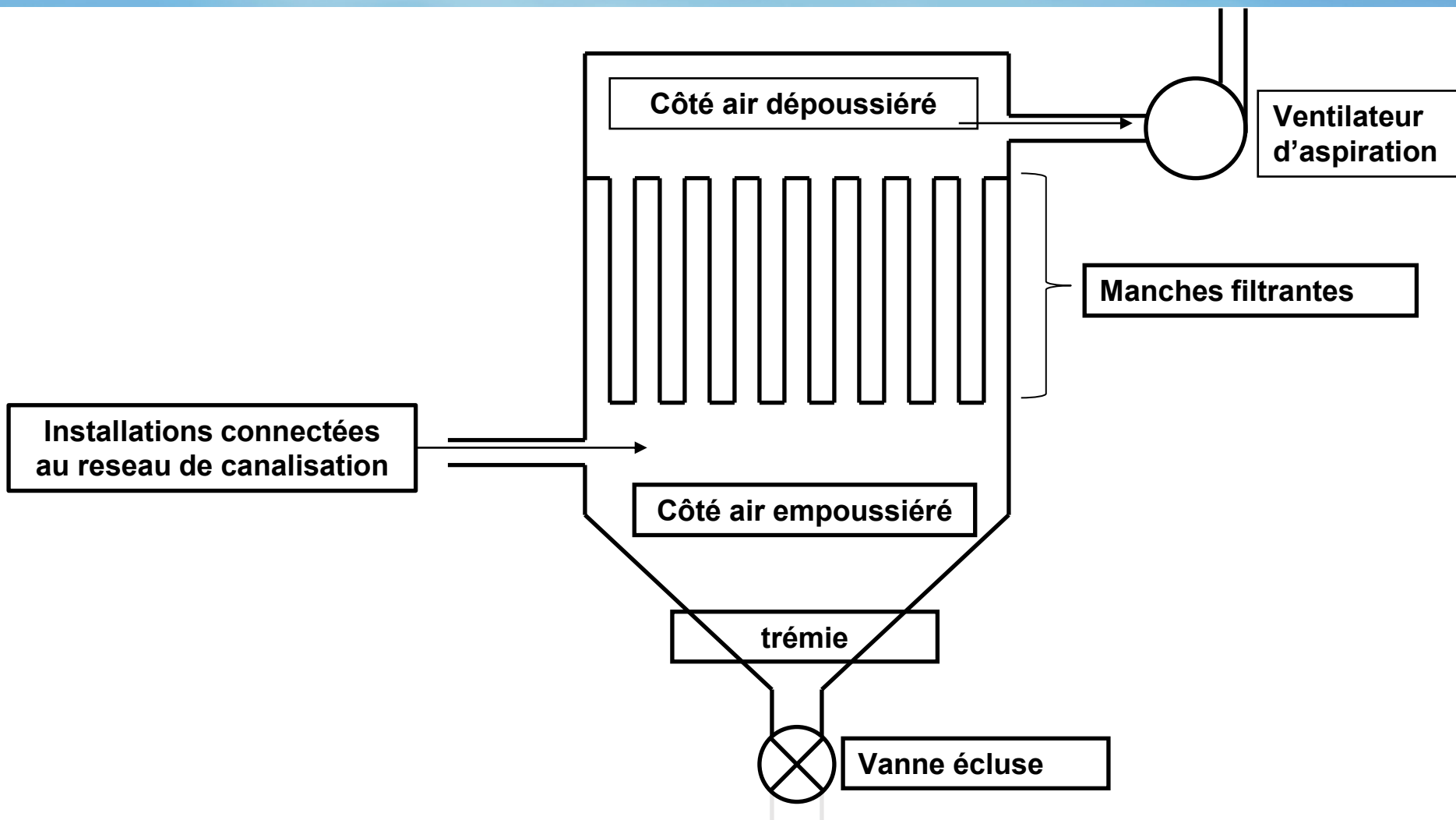
### 3 - Criticité

| Gravité d'une explosion | Probabilité d'une explosion |   |   |   |   |   |
|-------------------------|-----------------------------|---|---|---|---|---|
|                         | 5                           | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 3                       | 7                           | 6 | 5 | 4 | 3 | 0 |
| 2                       | 6                           | 5 | 4 | 3 | 2 | 0 |
| 1                       | 5                           | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |

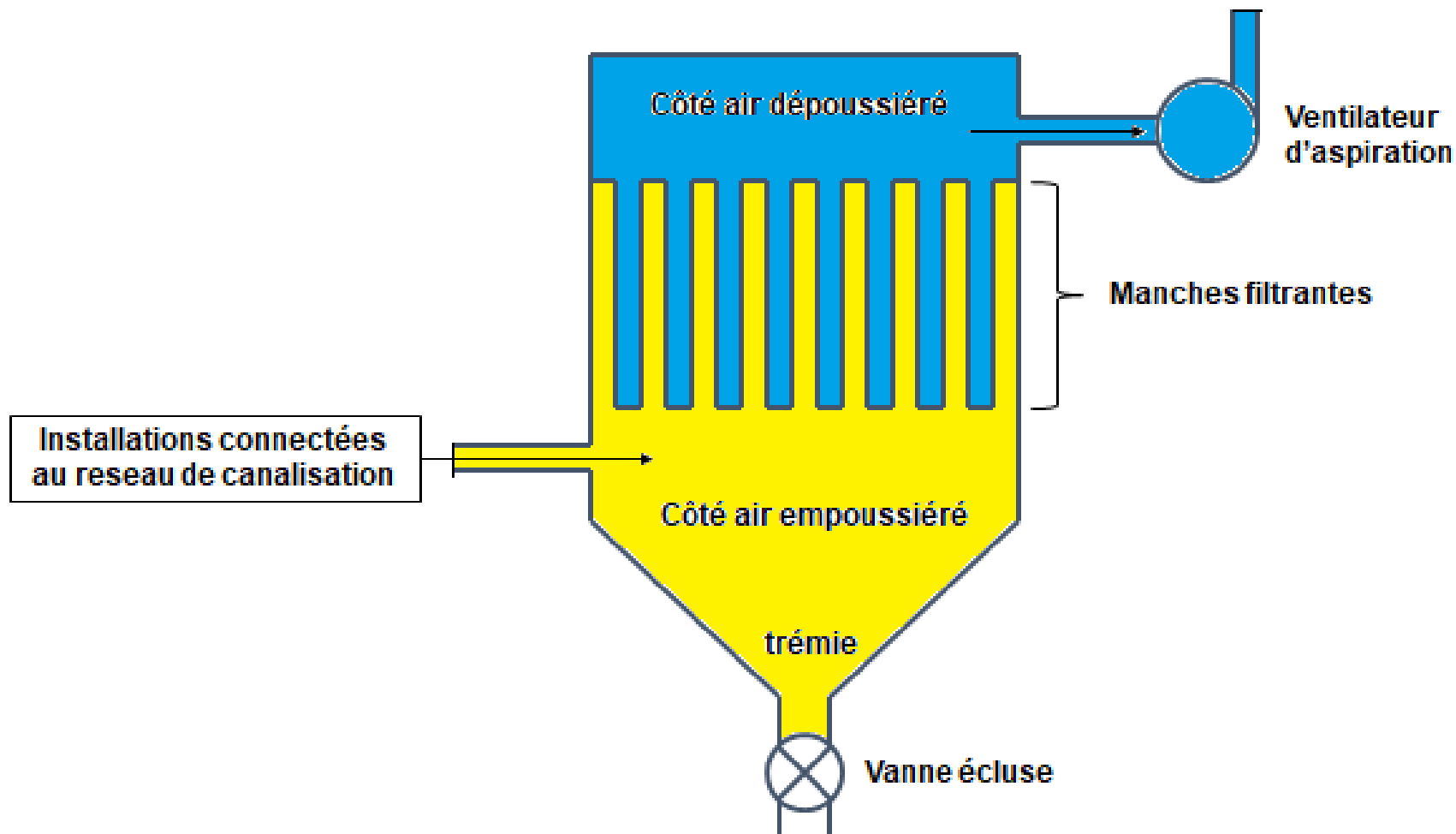
## Chaufferie selon la norme 60079 - 10 - 1

| Emplacement  | Probabilité d'apparition d'une ATEX (zone) | Probabilité d'inflammation (normal/ dysfonctionnement / rare) | Probabilité d'explosion (0 à 5) | Gravité (1 à 3) | Criticité (0 à 7) |
|--|--|---|---------------------------------|-----------------|-------------------|
| Chaufferie du bâtiment administration et poste d'arrivée de gaz de ville | 1  | Dysfonctionnement   | 3                               | 3               | 5                 |

# Systeme d'aspiration



# Systeme d'aspiration





## Systeme d'aspiration

### Probabilité de formation d'une ATEX

selon l'empoussièrement, l'air empoussiéré arrivant au filtre peut constituer une ATEX (zone 20 ou 21 ou 22, selon usage et débit d'aspiration)

une ATEX se forme de toute façon dans le filtre lors du décolmatage (zone 20 ou 21 selon la fréquence de décolmatage),

si une manche est détériorée ou démanchée, une ATEX peut se former côté air dépoussiéré (zone 22)

### Probabilité d'inflammation des ATEX formées

Electrostatique si la poussière est isolante,

Particule incandescente provenant de l'amont (aspiration d'étincelle),

Ventilateur d'aspiration se trouvant côté air empoussiéré

Incendie en amont

...

## Système d'aspiration

### Gravité de l'explosion d'une ATEX

Il se produira une explosion en milieu confiné qui développera une surpression suffisante pour **détruire le caisson du filtre**

L'explosion donnera alors lieu à une **onde de surpression et des flammes** dans **une direction non maîtrisée**

un **travailleur présent à proximité** peut être **blessé** par les effets mécaniques et/ou thermiques de l'explosion

Prendre des mesures de prévention ou de protection

### Mesures de prévention

Il n'est pas possible de prévenir la présence d'une ATEX dans le filtre, tant qu'un décolmatage est nécessaire

Il n'est pas non plus possible de garantir l'absence d'une source d'inflammation de l'ATEX formée dans le filtre

Augmenter la protection

## Systeme d'aspiration

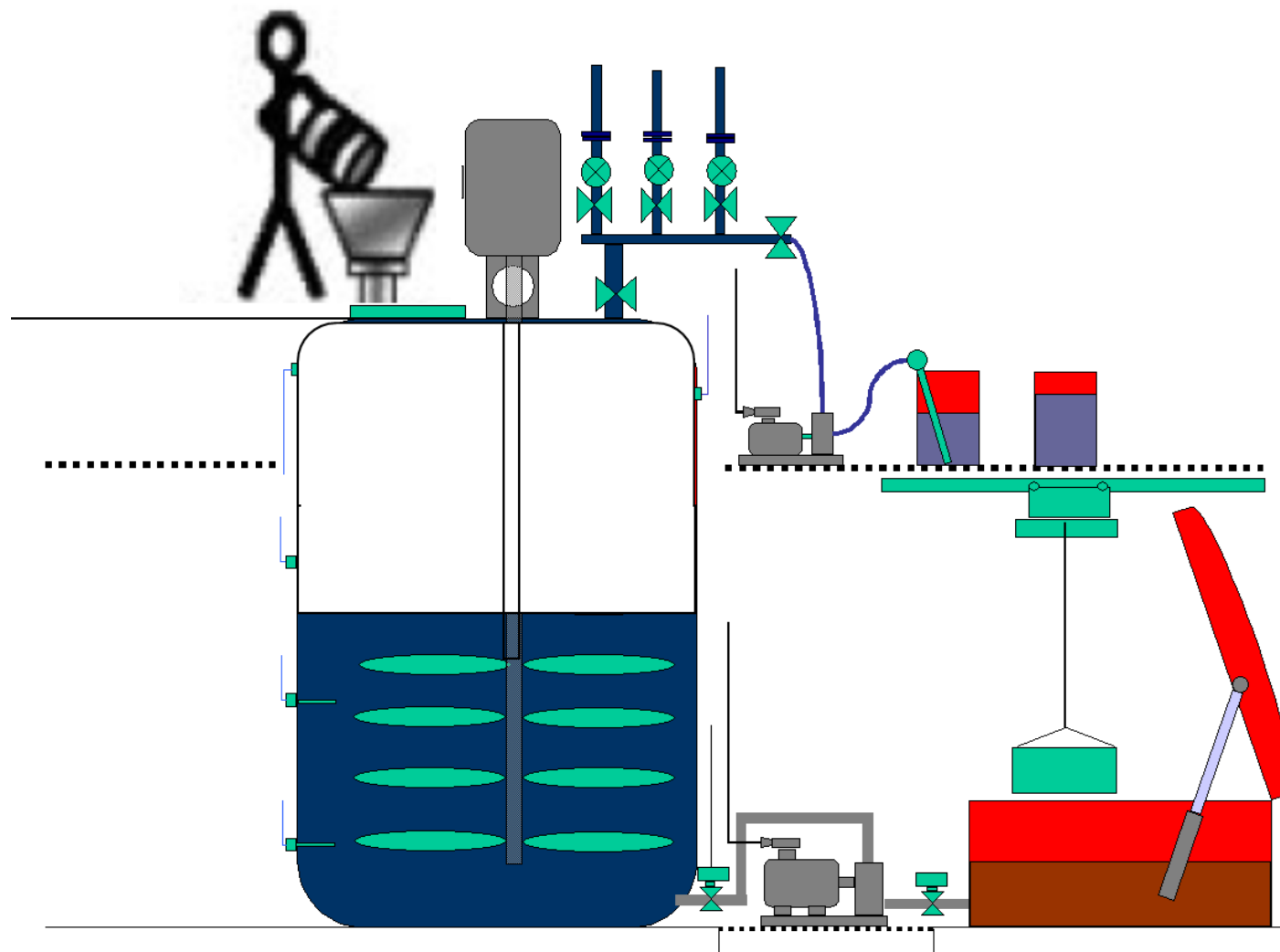
### Mesures de protection

le filtre peut être protégé par événement d'explosion, si la canalisation d'aspiration contient une ATEX, il faut également empêcher l'explosion de s'y propager, en installant un système d'isolement (vanne à fermeture rapide,...) en amont du filtre

### Le dimensionnement des événements doit tenir compte

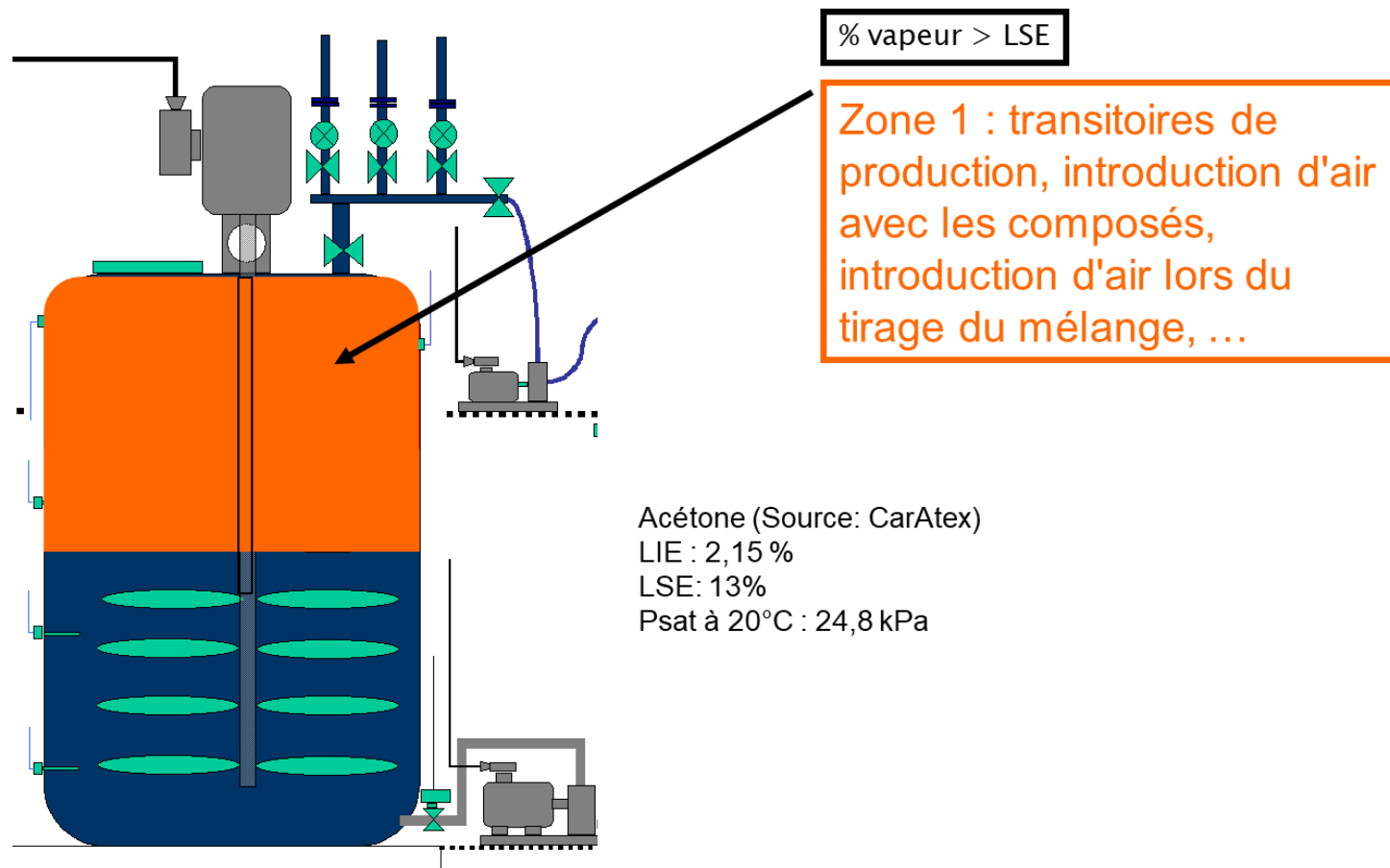
- de l'explosivité de la poussière,
- du volume/géométrie du filtre,
- de la pression maximale admissible dans le filtre,
- de la pression d'ouverture de l'événement
- de l'emplacement sécurisé (personnel, procédés/bâtiments, ...) d'émission des flammes/surpression

# Liquide inflammable



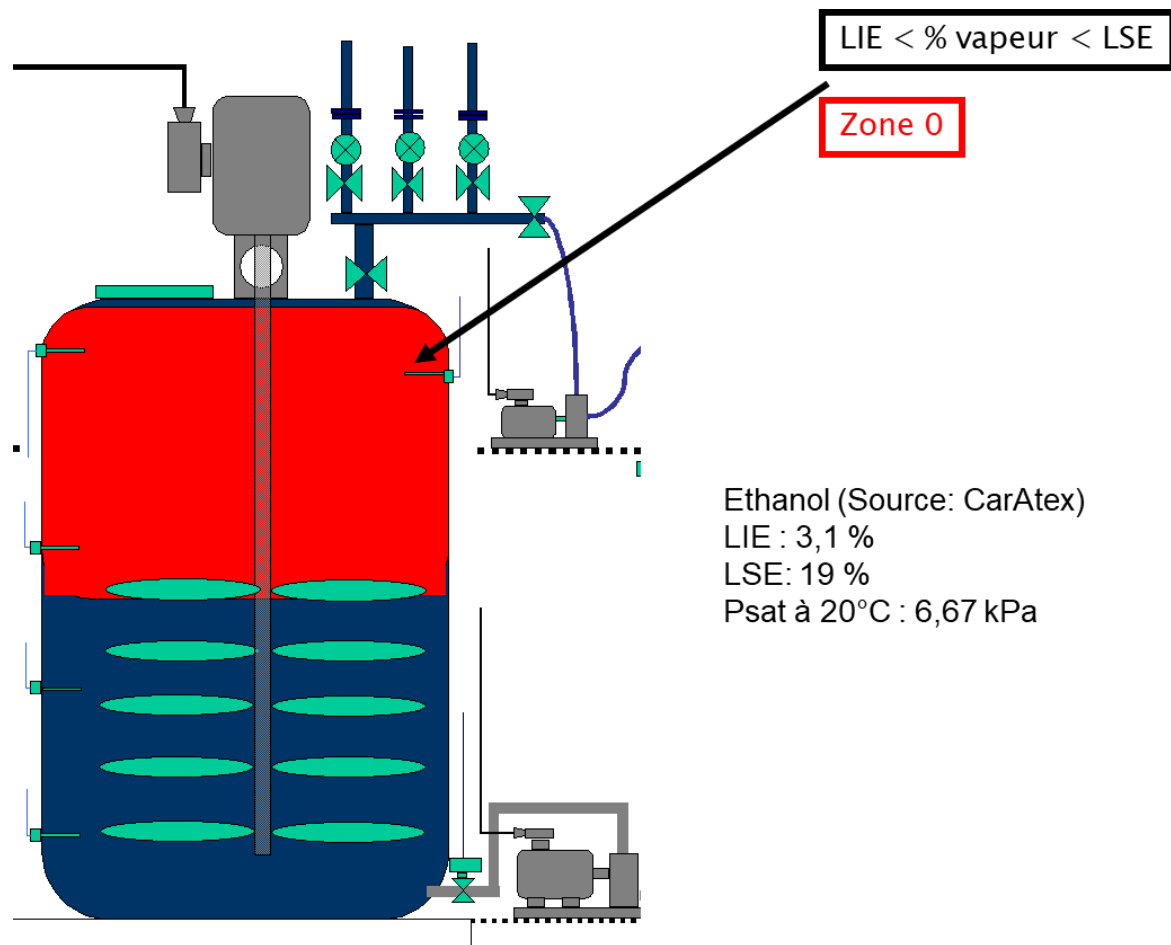
## Liquide inflammable

Cas n°1 : cuve contenant de l'acétone (PE =  $-20^{\circ}\text{C}$ ) à température ambiante ( $20^{\circ}\text{C}$ )



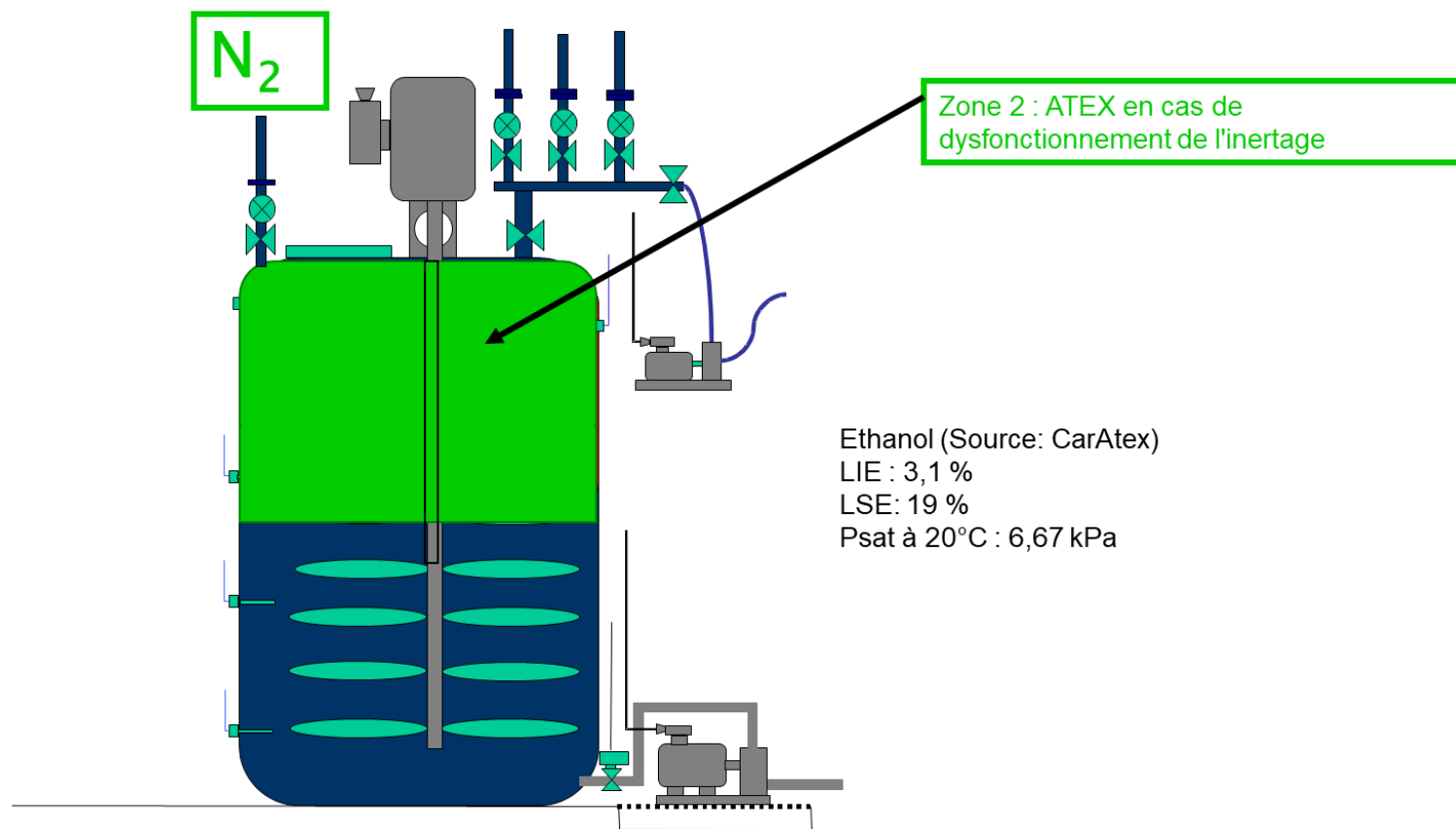
## Liquide inflammable

Cas n°2 : cuve contenant de l' éthanol (PE = 12°C) à température ambiante (20°C)



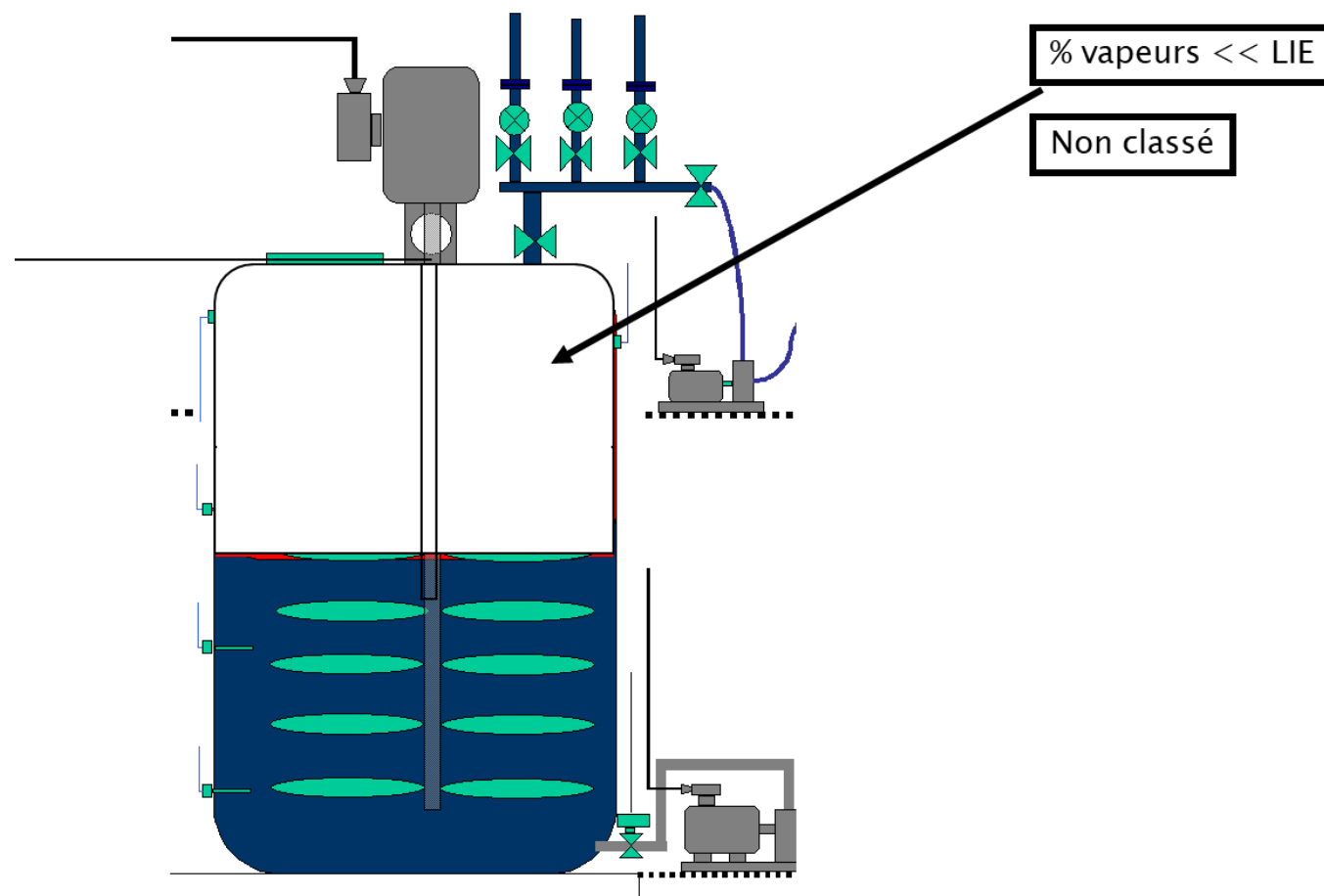
## Liquide inflammable

### Cas n°3 : cuve inertée contenant de l'éthanol à température ambiante (20°C)



## Liquide inflammable

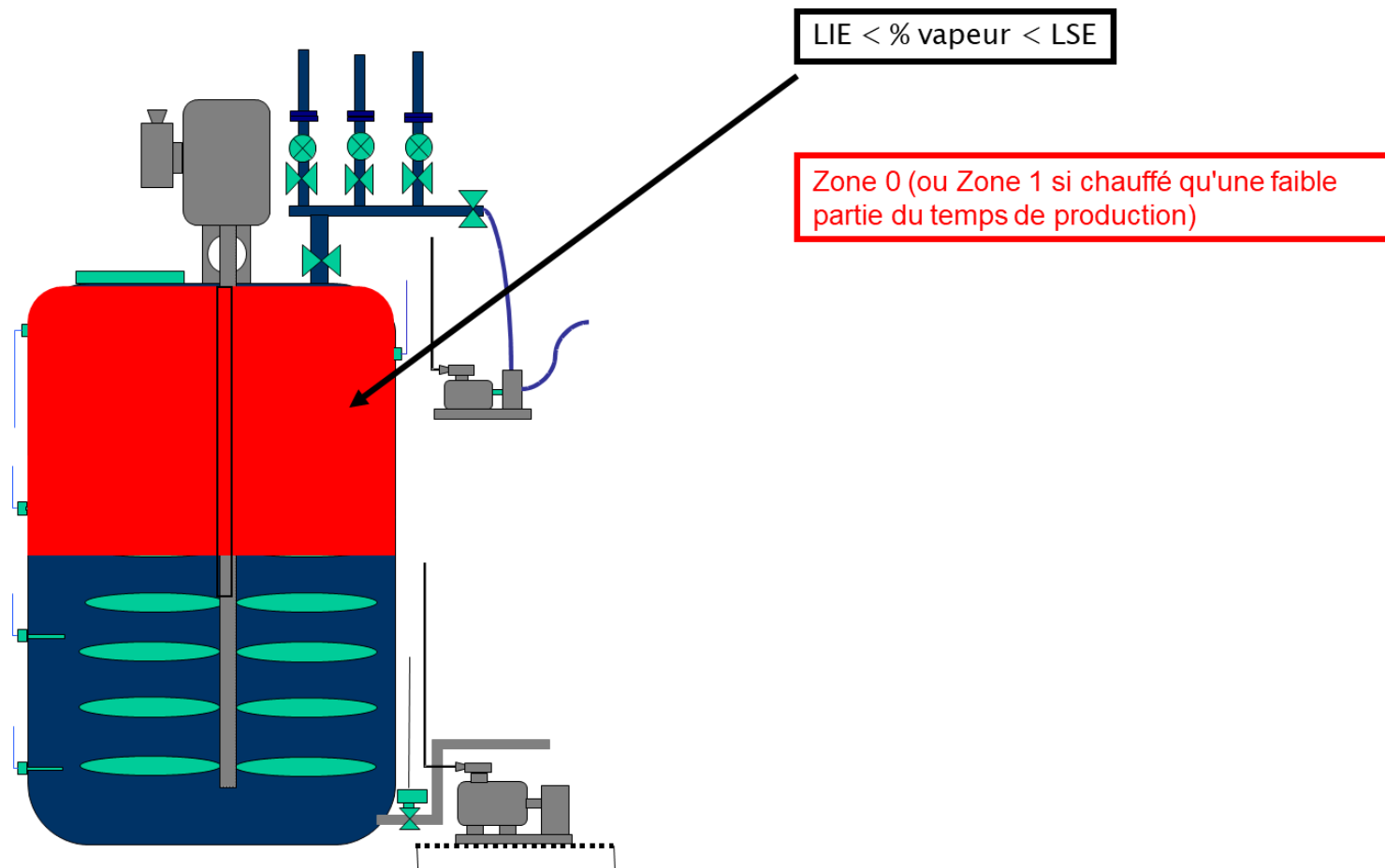
Cas n°4 : cuve contenant un mélange eau/éthanol à 5% d'alcool (PE = 62°C) à température ambiante (20°C)





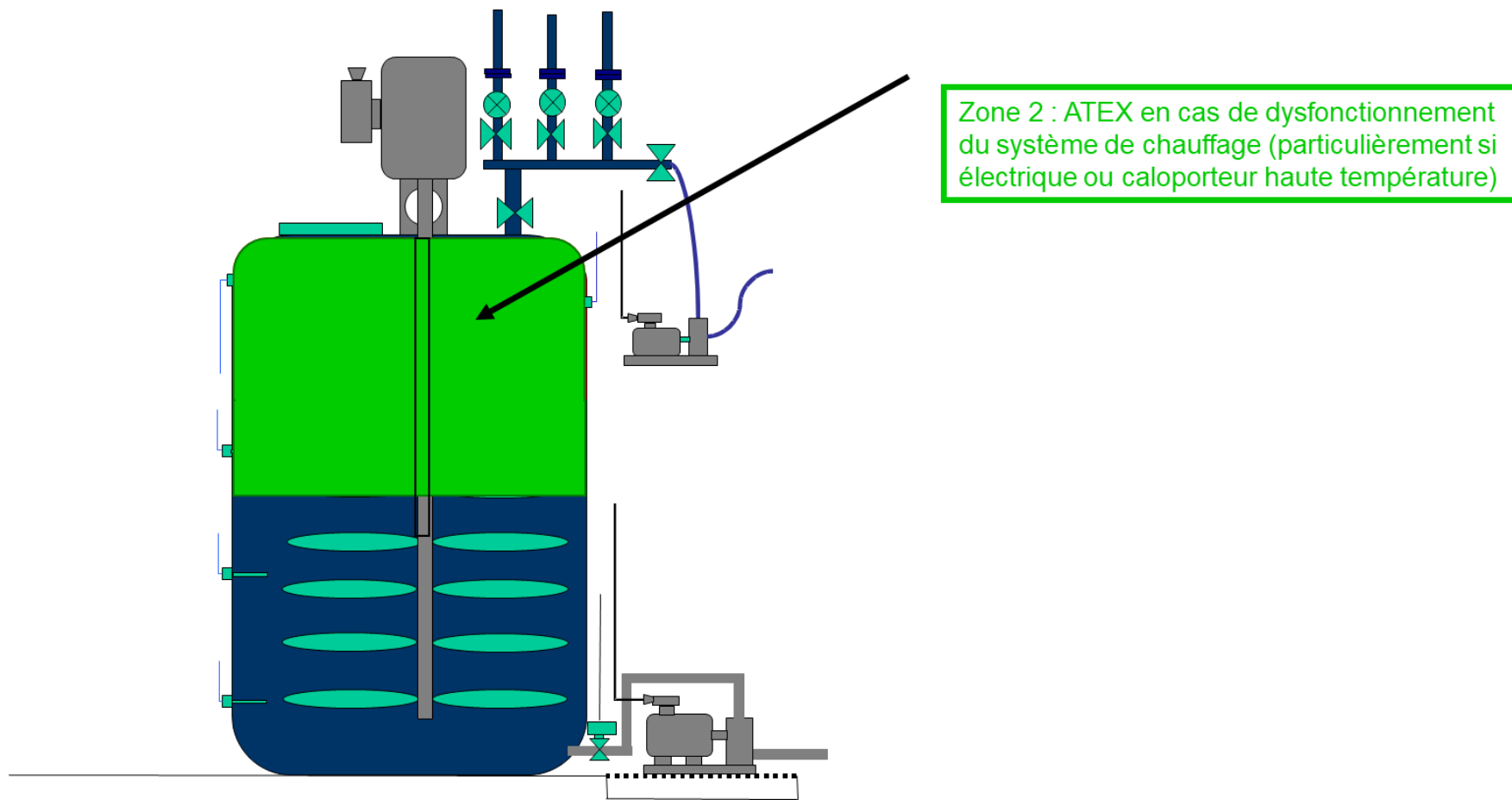
## Liquide inflammable

Cas n°5 : cuve contenant un mélange eau/éthanol à 5% d'alcool (PE = 62°C) chauffé à T = 70°C



## Liquide inflammable

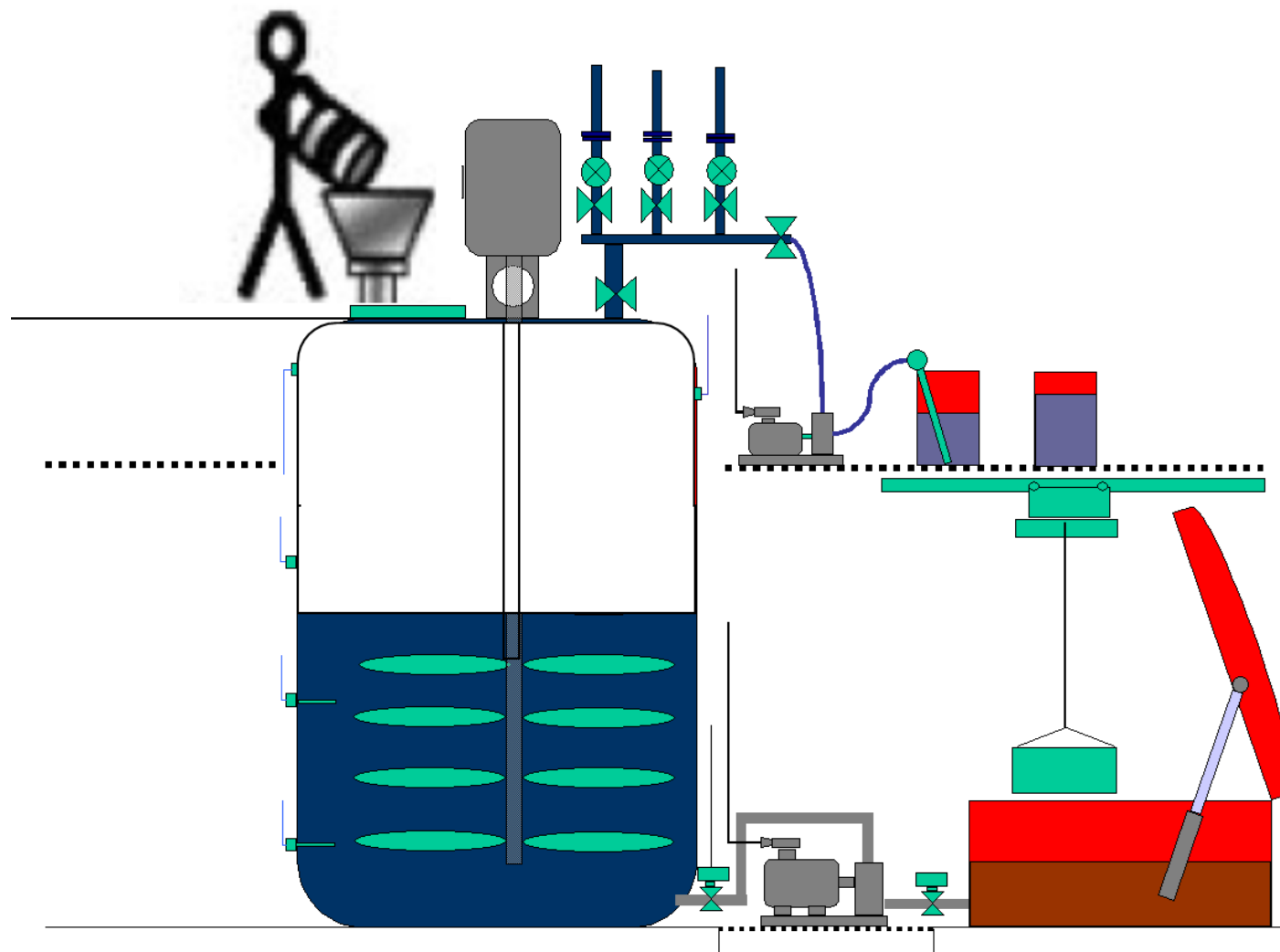
Cas n°6 : cuve contenant un mélange eau/éthanol à 5% d'alcool (PE = 62°C) chauffé à T = 45°C



# Mesures de prévention possible concernant le combustible

- Remplacement par un liquide à haut point d'éclair
- Ventilation des locaux,
- Aspiration à la source,
- Conservation à une température inférieure au Point d'éclair ( $T < PE - 15^{\circ}\text{C}$ ),
- Mise en place de bacs de rétention,

# Poudres et poussières



L'ouverture d'un trou d'homme sur une cuve inertée entraîne une **perte** (+/- localisée) de cet inertage

La concentration en O<sub>2</sub> peut passer de 5 % à 12 % en moins de 2 minutes.

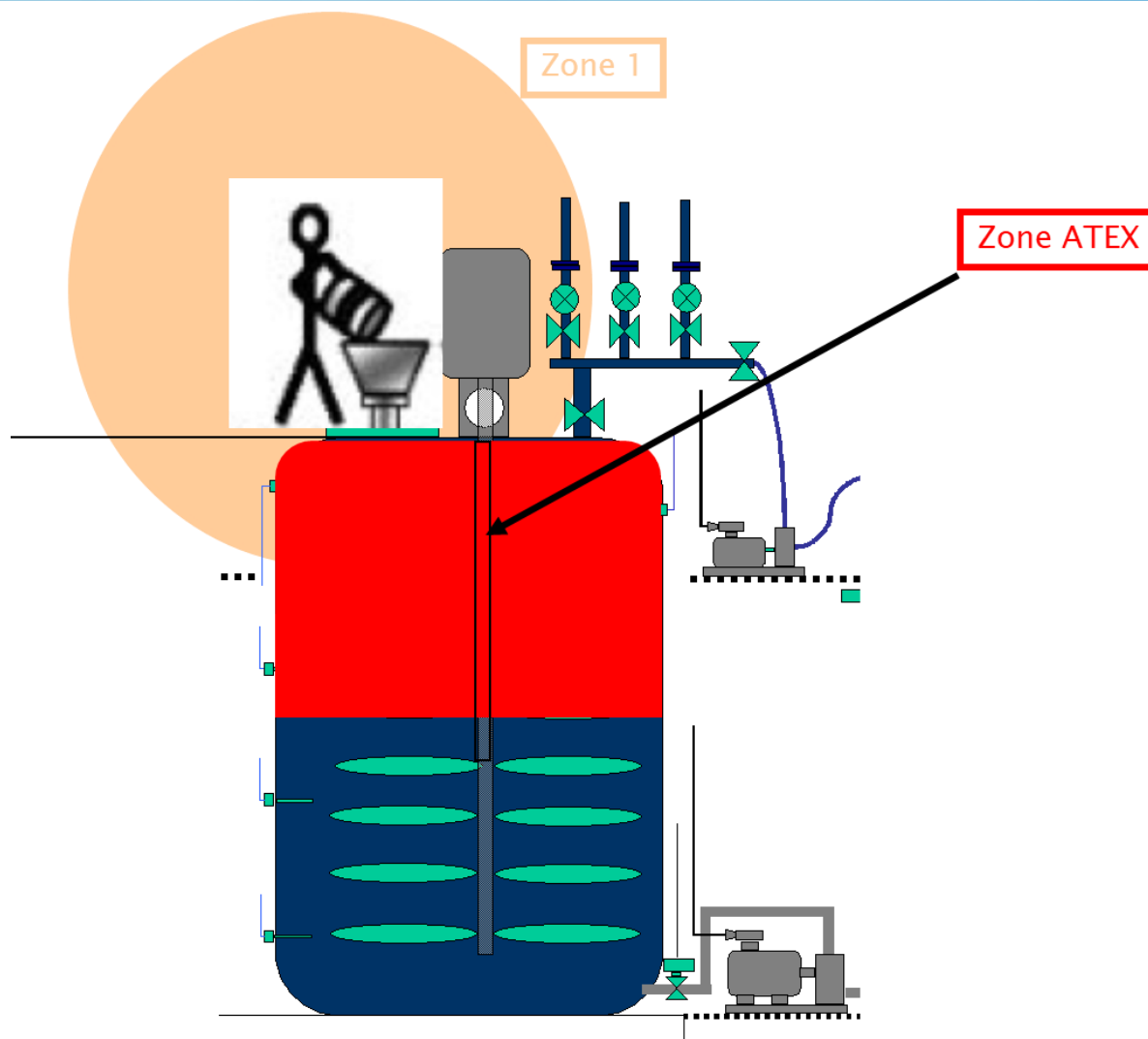
L'emplacement à proximité du trou d'homme est généralement une zone 1

Le retour d'expérience montre **de nombreux cas d'inflammation de l'ATEX** présente au niveau du trou d'homme ou dans la cuve,

Opérateur **à proximité immédiate** du trou d'homme : **très exposé** en cas d'inflammation (brûlures),

Des mesures supplémentaires doivent être mises en place pour éviter au personnel de devoir travailler en zone 1.

# Poudres et poussières



# Poudres et poussières

Pour protéger l'opérateur, la seule solution efficace consiste à **modifier le poste de travail**, de façon que l'introduction puisse être effectuée en **deux temps** :

1. l'opérateur introduit d'abord le solide dans un **sac conducteur électriquement** (en métal),
2. puis l'opérateur **télécommande** le transfert automatique du solide du sac dans le mélangeur.

Cette solution a les avantages :

1. de ne plus soumettre l'opérateur à la présence d'une ATEX,
2. de pouvoir prévenir efficacement le risque électrostatique

