

Sommaire du chapitre

Cours TS01 ATEX

Présentation et sommaire

Camille DURAND

Process Design Engineer
E&C | Gas Treatment

Tel : +33 6 76 78 73 09

Mail : ca.durand@suez.com

SUEZ International – Tour CB21, 16 Place de l'Iris
92040 Paris-La Défense – France

Et pendant 5 ans...

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



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

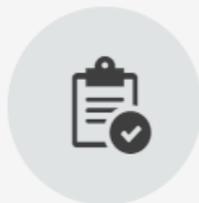
Environ **550 personnes** (ingénieurs, chercheurs, techniciens et doctorants)

Site de **40 ha** à Verneuil-en-Halatte (Oise) : **15 ha** de plateformes d'essais & **30 000 m²** 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



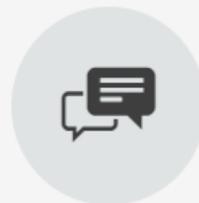
PRESTATIONS



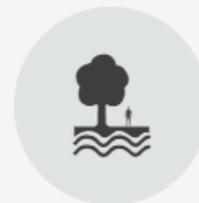
RISQUES SOL / SOUS-SOL



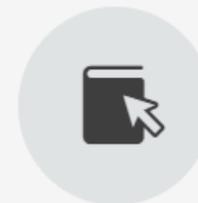
APPUI AUX
POLITIQUES
PUBLIQUES



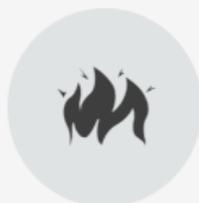
OUVERTURE A LA
SOCIETE



RISQUES
CHRONIQUES



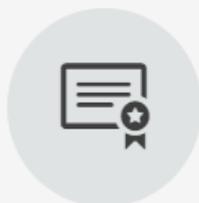
BASE DOCUMENTAIRE



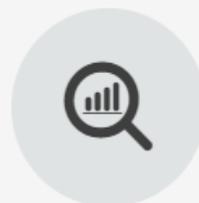
RISQUES
ACCIDENTELS



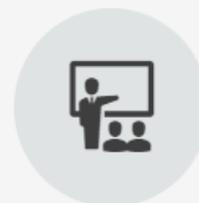
RECRUTEMENT



CERTIFICATIONS



NOS PLATEFORMES
D'ESSAIS EN GRAND

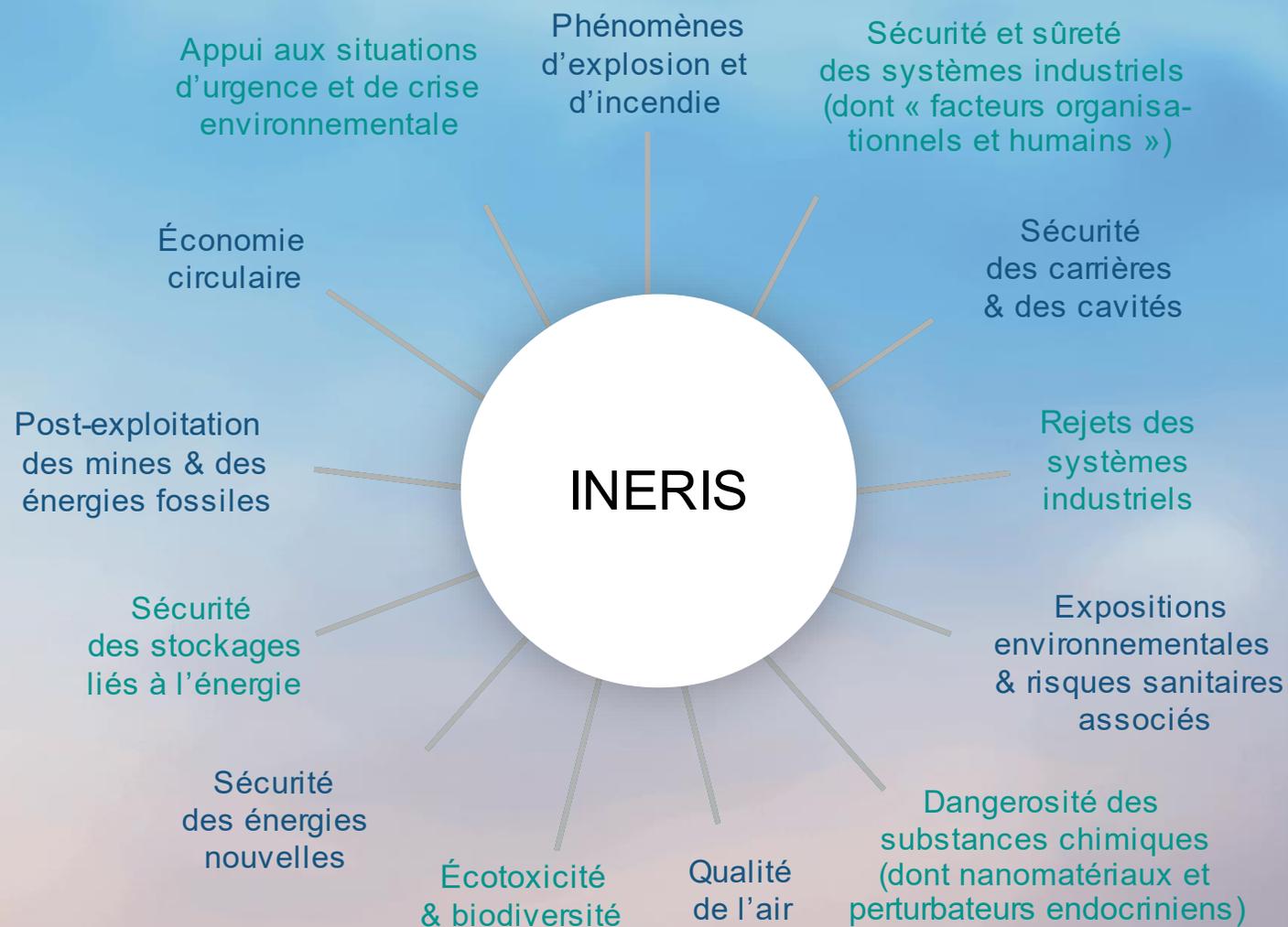


FORMATION



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** :

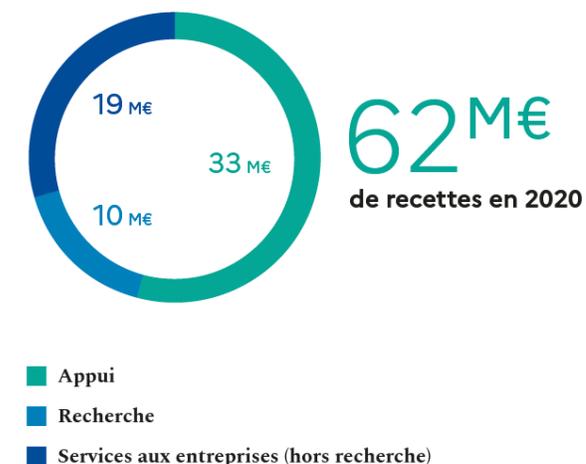
[53 %] Appui aux politiques publiques

[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

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

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



Le phénomène d'explosion : origine physique ou origine chimique



Le phénomène d'explosion : origine physique ou origine chimique



Le phénomène d'explosion : origine physique ou origine chimique

Analyse succincte :

Atmosphère très empoussiérée (couche de sucre de 10 cm à certains endroits), particules fines (< 500 µm) 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 connectées au système d'aspiration

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



Le phénomène d'explosion : origine physique ou origine chimique

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



Le phénomène d'explosion : origine physique ou origine chimique

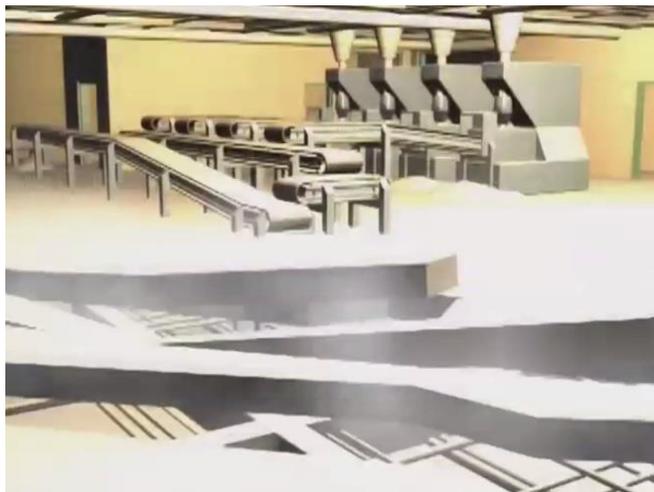
Ce qu'il s'est passé :

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



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.

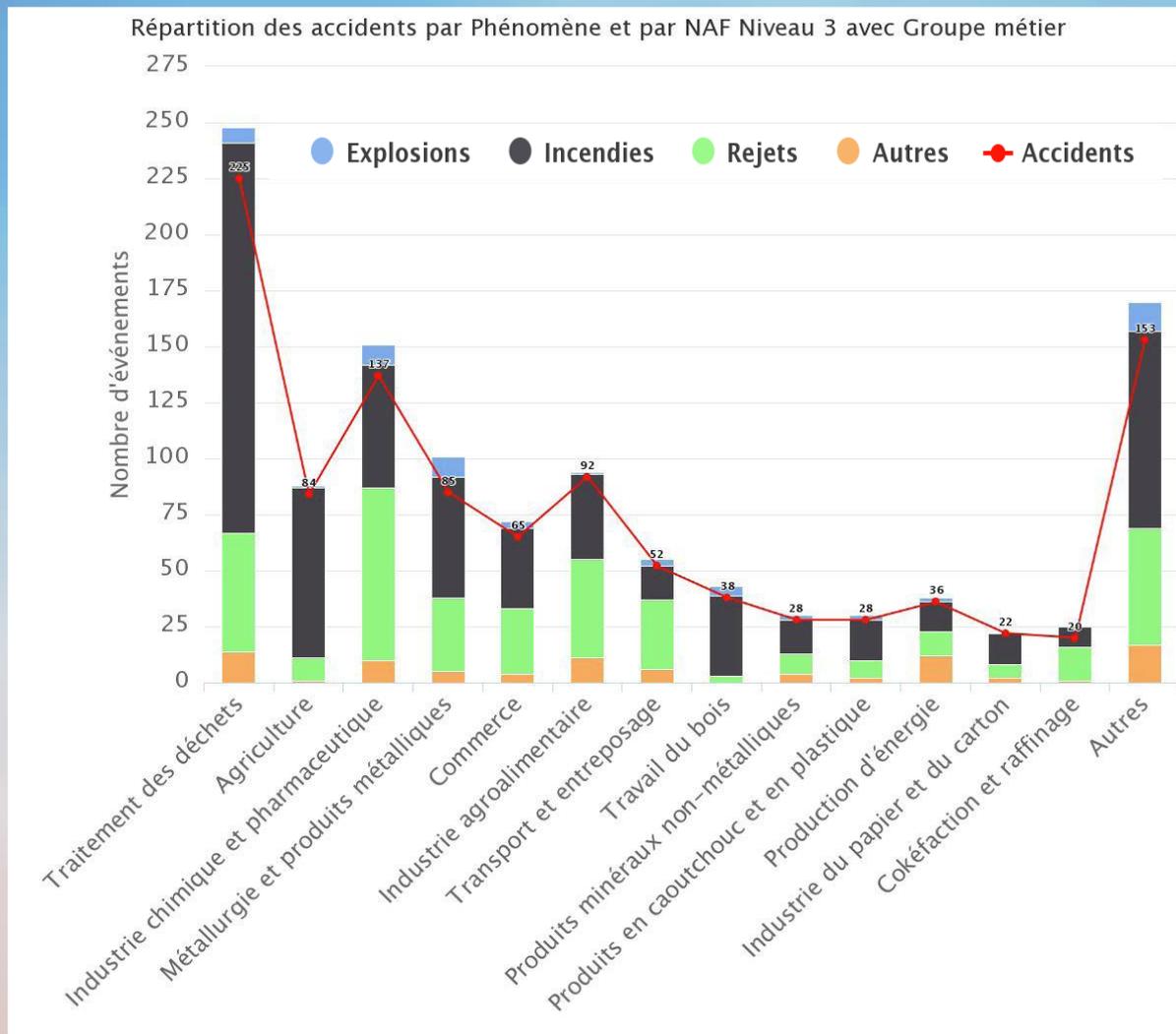
Réglementation applicable depuis le 1^{er} juillet 2006 pour tous les sites sujets aux ATEX (anciens et nouveaux).



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 (2015-2016)	Nombre (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 :

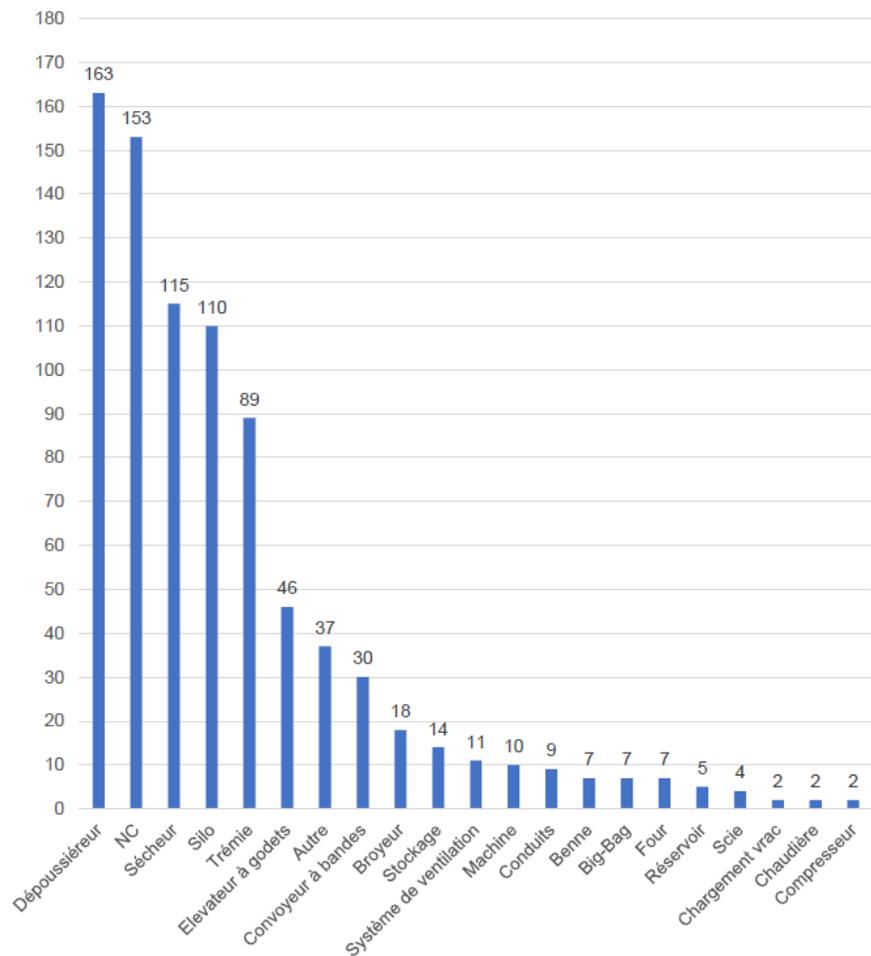
- Faible nombre d'accidents du travail (AT),
- Gravité souvent supérieure à celle d'autres AT : accidents avec arrêts (ITT), accidents graves (IPT, décès).

Moyenne annuelle sur une période de 2008 – 2011 :

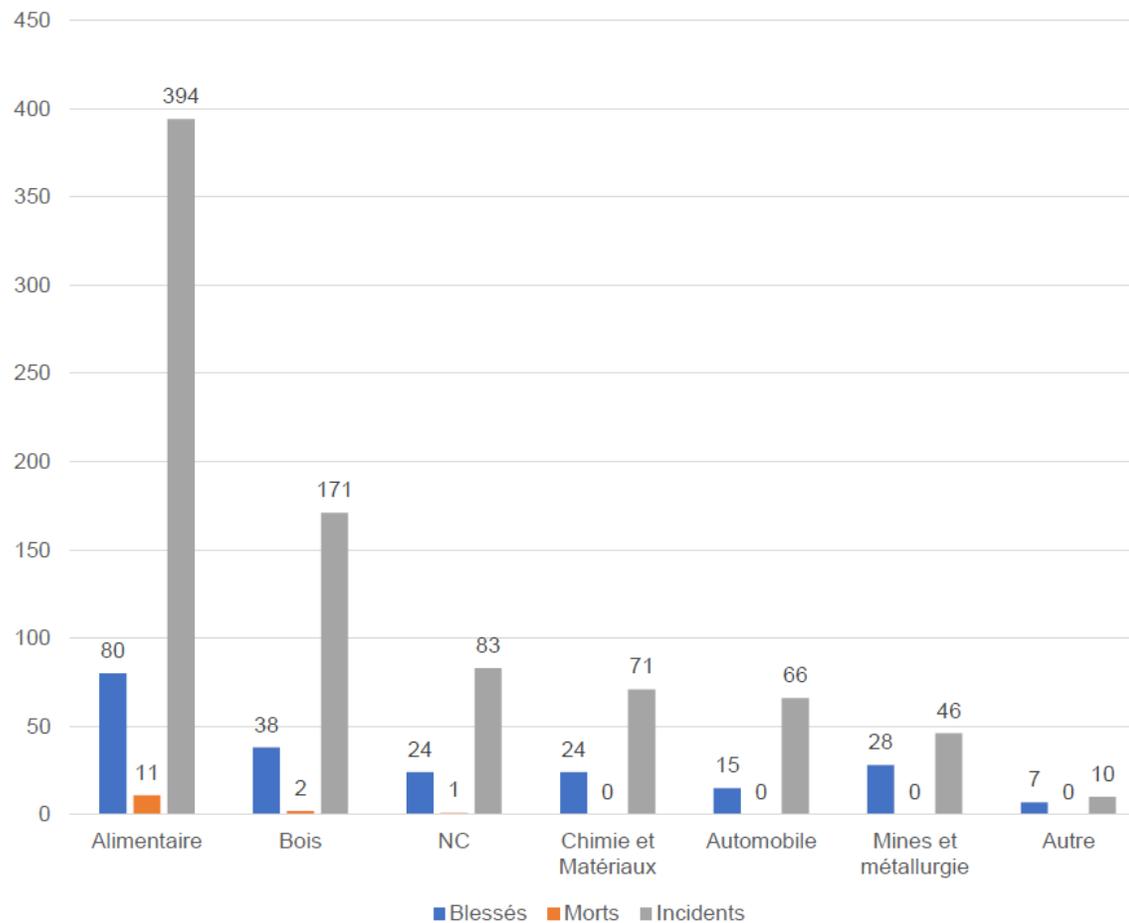
- Nombre d'accidents avec arrêt / an : 154,7 (0,02 %)
- Nombre d'accidents graves / an (IPT) : 25,5 (0,06 %)
- Nombre d'accidents avec décès / an : 3,75 (0,68 %)
- Nombre de jours d'ITT / an : 16 810,5 (0,045 %)

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)

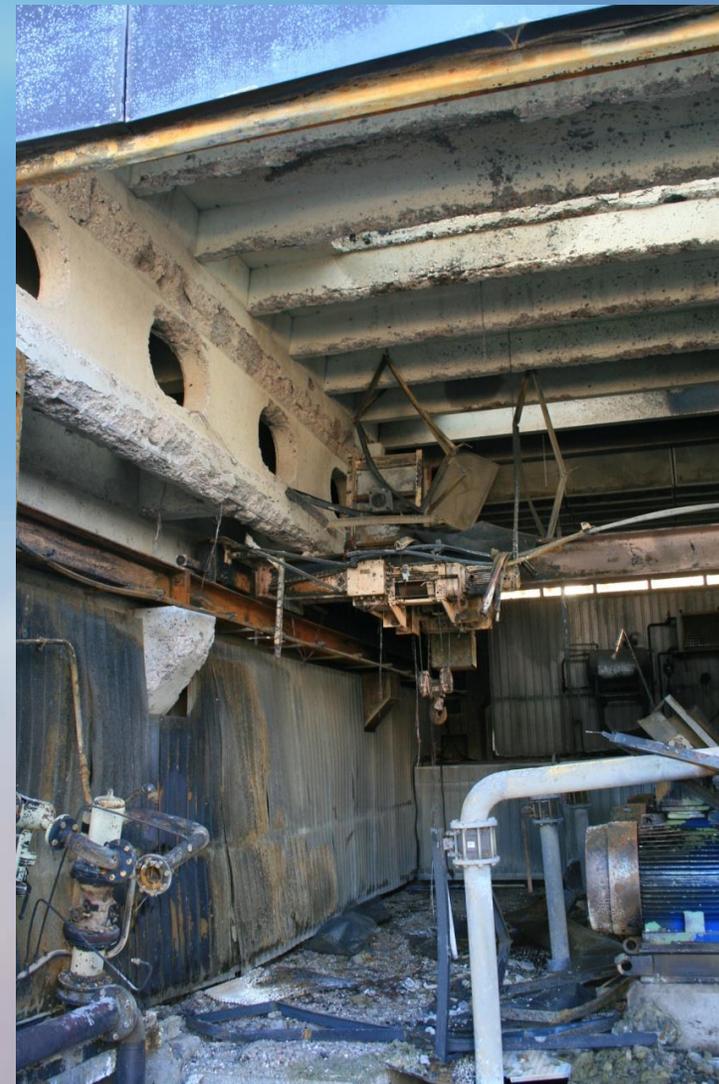
Explosion dans une usine chimique (Ref BARPI N° 45643 15/04/2014 FRANCE - 84 – AVIGNON)

- 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.

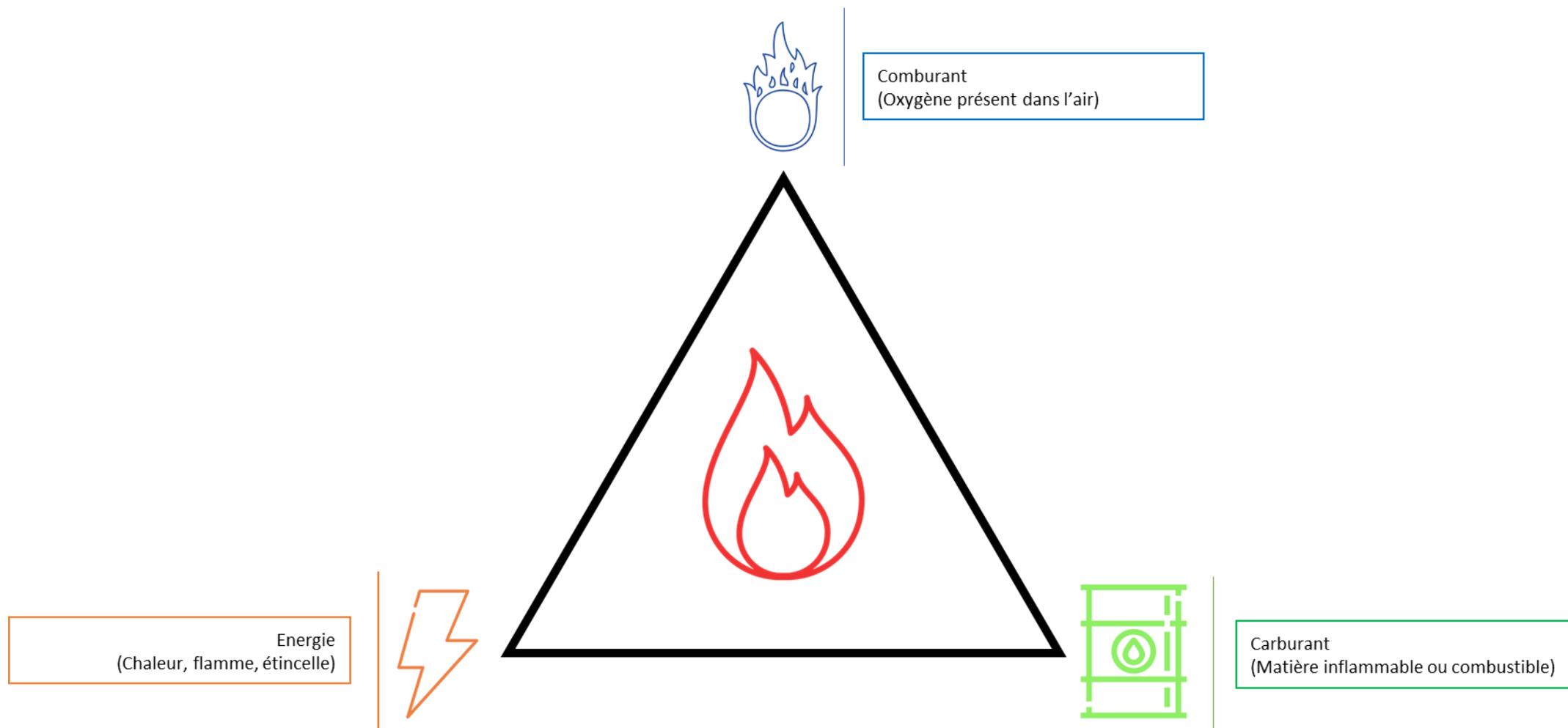
Cours TS01 ATEX

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 :

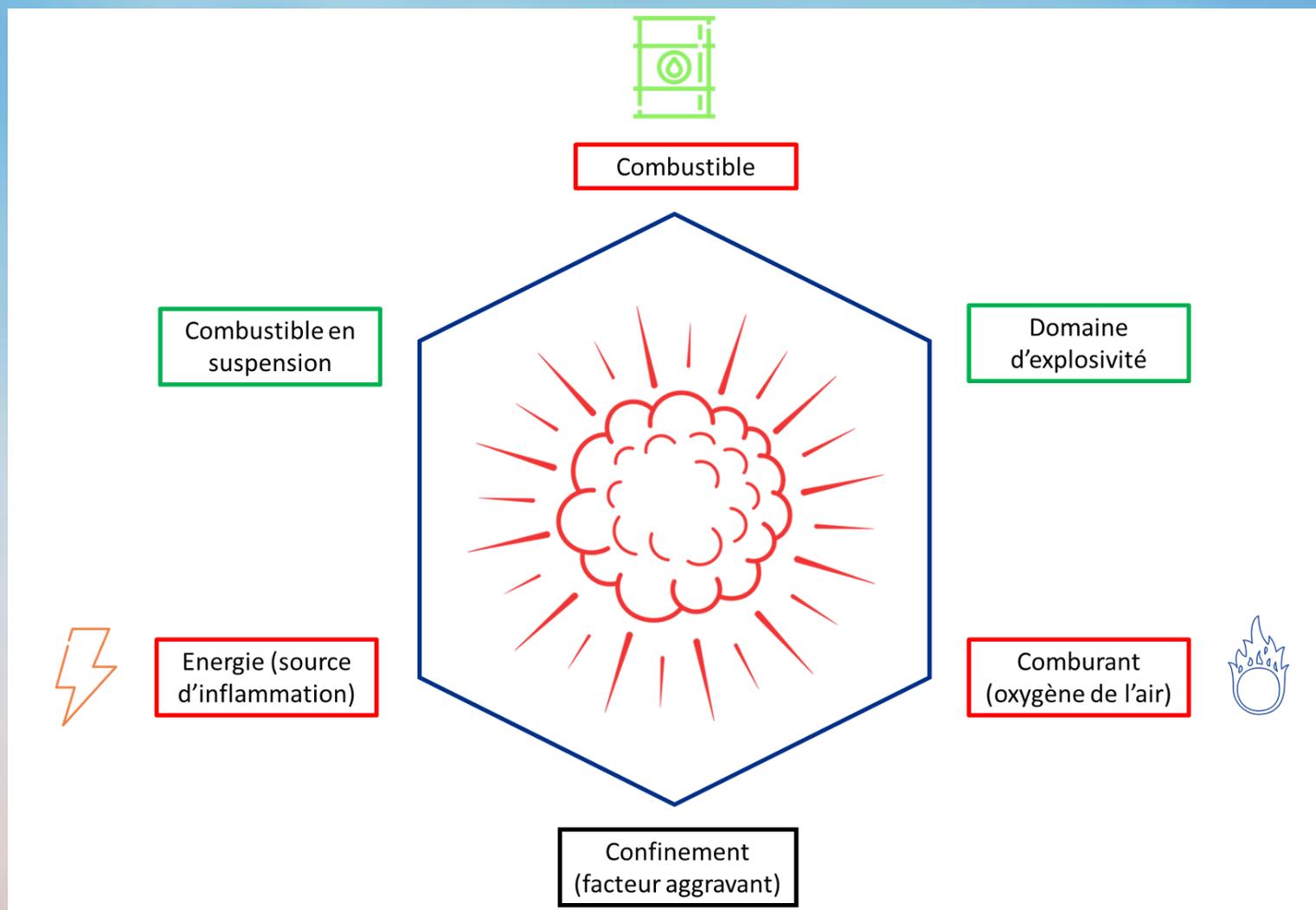
feux beaucoup plus chauds (bec bunsen, soudure oxyacétylénique, etc.)

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.

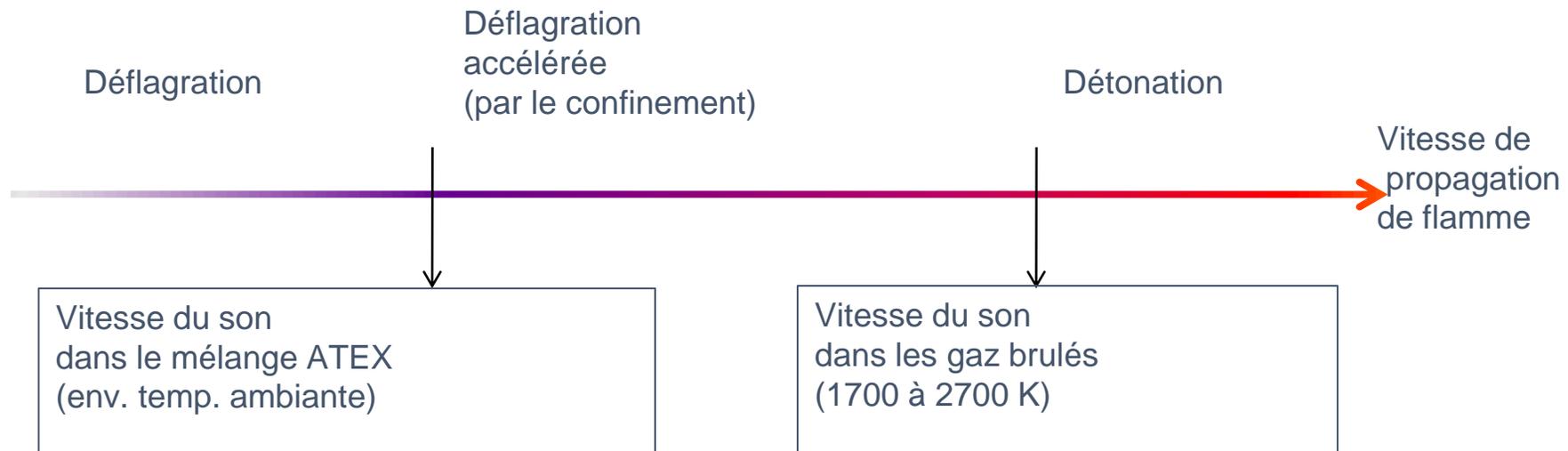
On distingue deux types distincts de propagation d'une explosion :

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

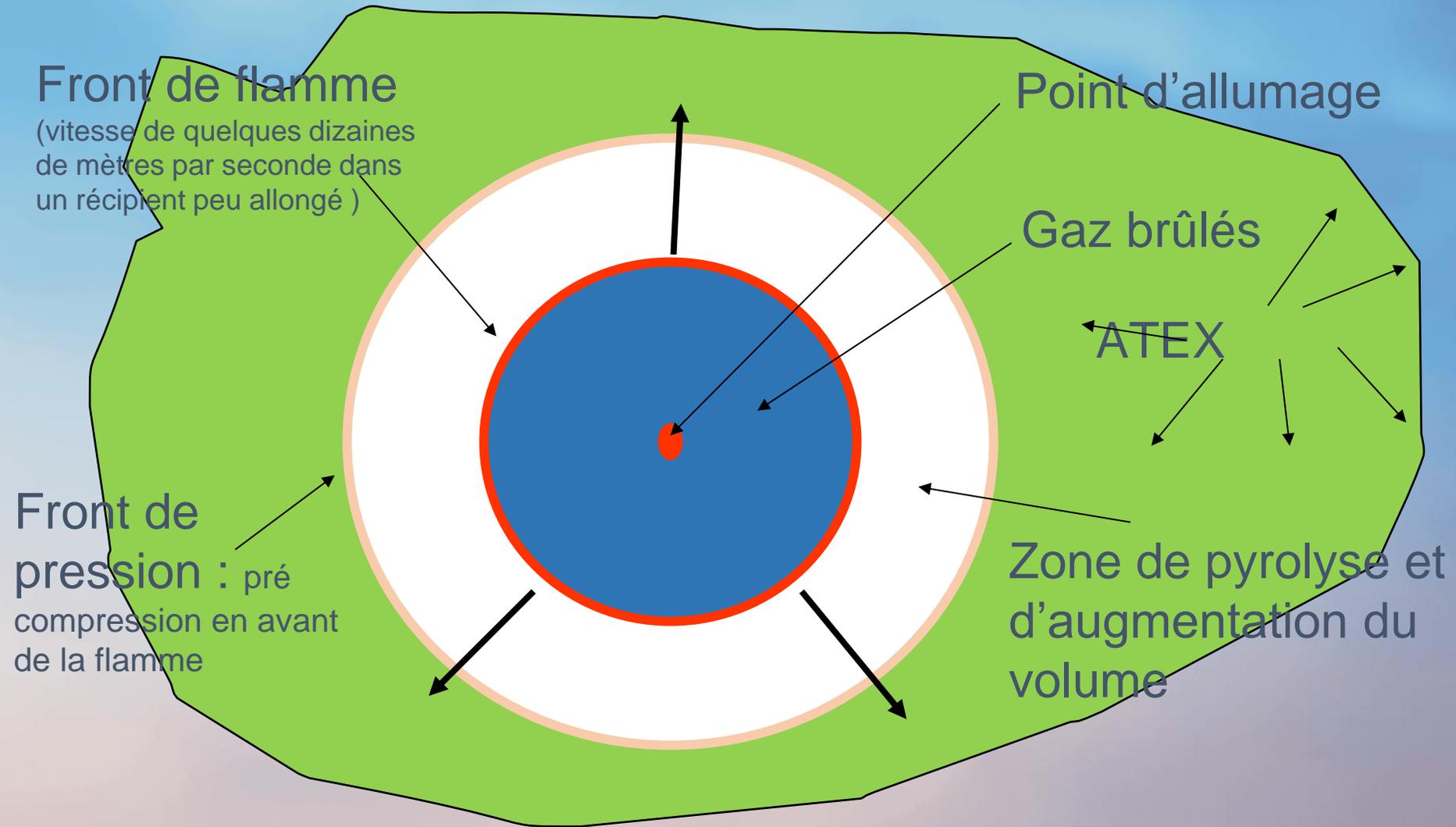
la **détonation** (la plupart du temps initiée par une déflagration)

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.

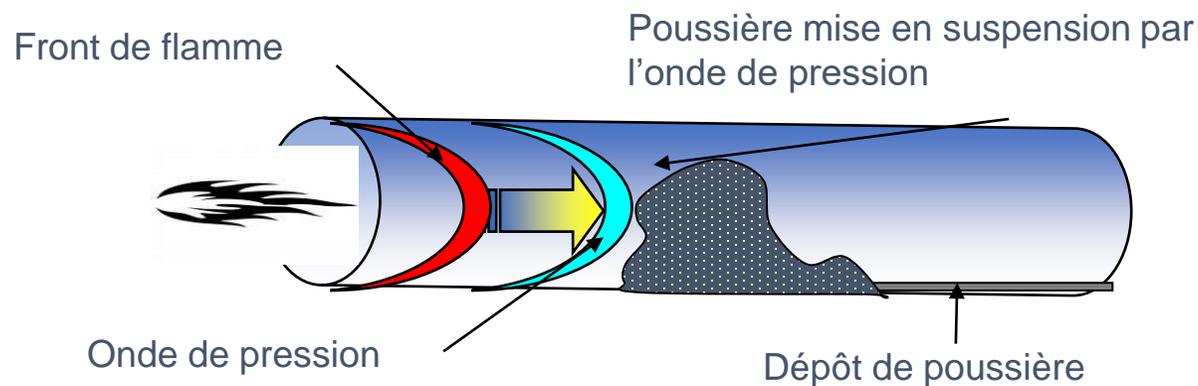
Propagation d'une explosion: accélération

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 (CO_2 , H_2O , 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

Zone 0	Gaz, vapeurs, brouillards	ATEX est présente en permanence ou pendant de longues périodes ou fréquemment
Zone 20	Poussières	
Zone 1	Gaz, vapeurs, brouillards	ATEX susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal
Zone 21	Poussières	
Zone 2	Gaz, vapeurs, brouillards	ATEX non susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou, si elle se présente néanmoins, n'est que de courte durée
Zone 22	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 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
Continu	Non dangereuse (Zone 0 EN) ^a	Zone 2 (Zone 0 EN) ^a	Zone 1 (Zone 0 EN) ^a	Zone 0	Zone 0 + Zone 2	Zone 0 + Zone 1	Zone 0
Primaire	Non dangereuse (Zone 1 EN) ^a	Zone 2 (Zone 1 EN) ^a	Zone 2 (Zone 1 EN) ^a	Zone 1	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 ou zone 0 ^c
Secondaire^b	Non dangereuse (Zone 2 EN) ^a	Non dangereuse (Zone 2 EN) ^a	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 1 et même Zone 0 ^c

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

^b 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.

^c 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 évent contre les explosions de poussières

EN 14797 Dispositifs de décharge d'explosion

EN 14994 Systèmes de protection par évent 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 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

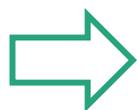
Identifier à priori si un risque est potentiellement présent (données physiques/chimiques)
=
caractériser les dangers du produit.

Ordre logique de la démarche :

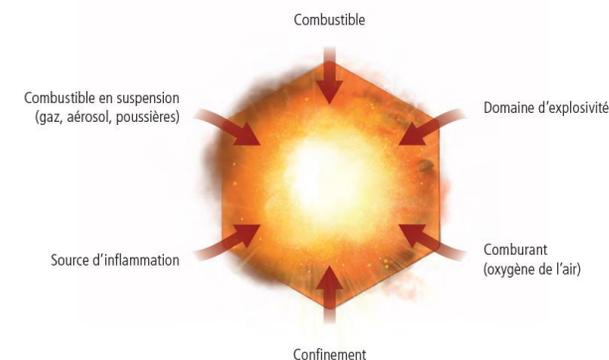
1. Possibilité de formation d'une ATEX → *selon l'état physique et la nature chimique du produit*
2. Caractéristiques d'inflammabilité de l'ATEX
3. Caractéristiques d'explosivité de l'ATEX
→ *dimensionner la protection contre l'explosion*



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

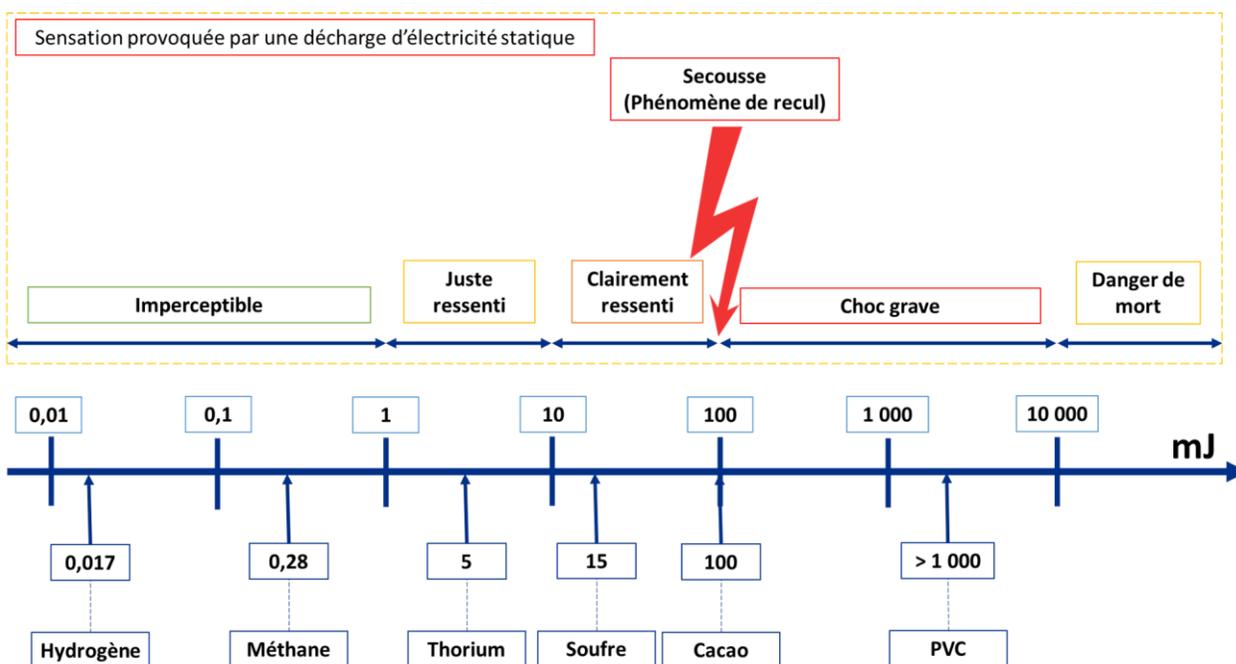
compression adiabatique

réactions exothermiques incluant la fermentation et l'auto-inflammation

accumulation de radicaux

Energie minimale d'inflammation

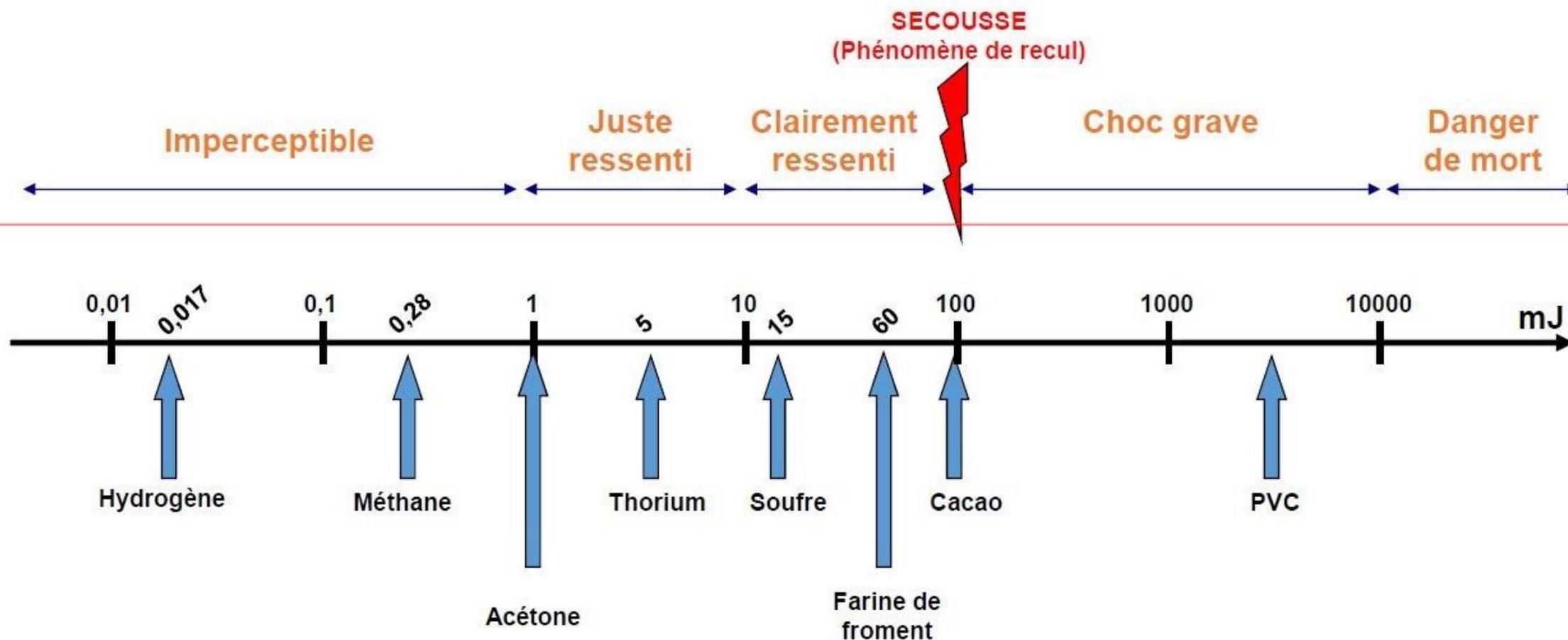
Valeur de l'Energie Minimale d'Inflammation	Sensibilité au risque d'inflammation par un phénomène d'origine électrostatique
1000 mJ < EMI	Peu sensible
30 mJ < EMI < 1000 mJ	Sensible
3 mJ < EMI < 30 mJ	Très sensible
EMI < 3 mJ	Extrêmement sensible



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

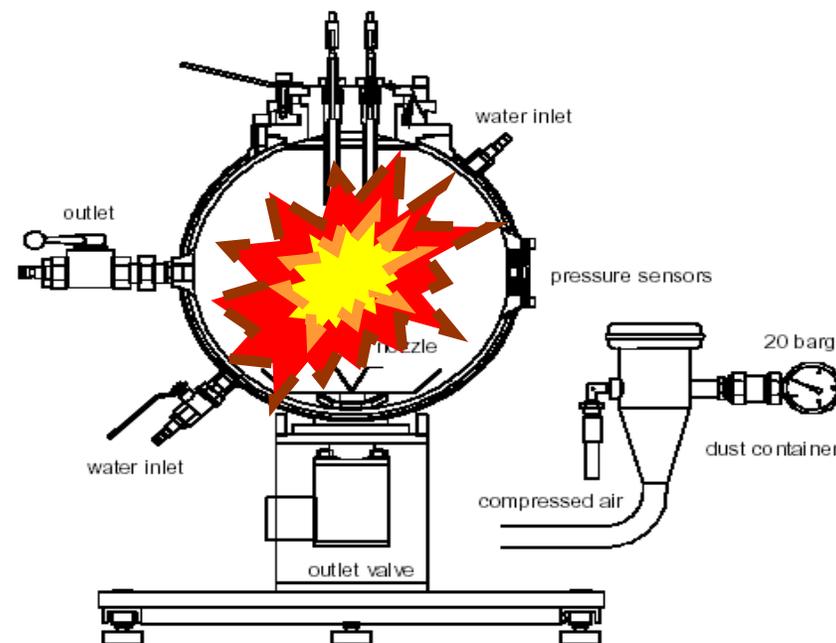
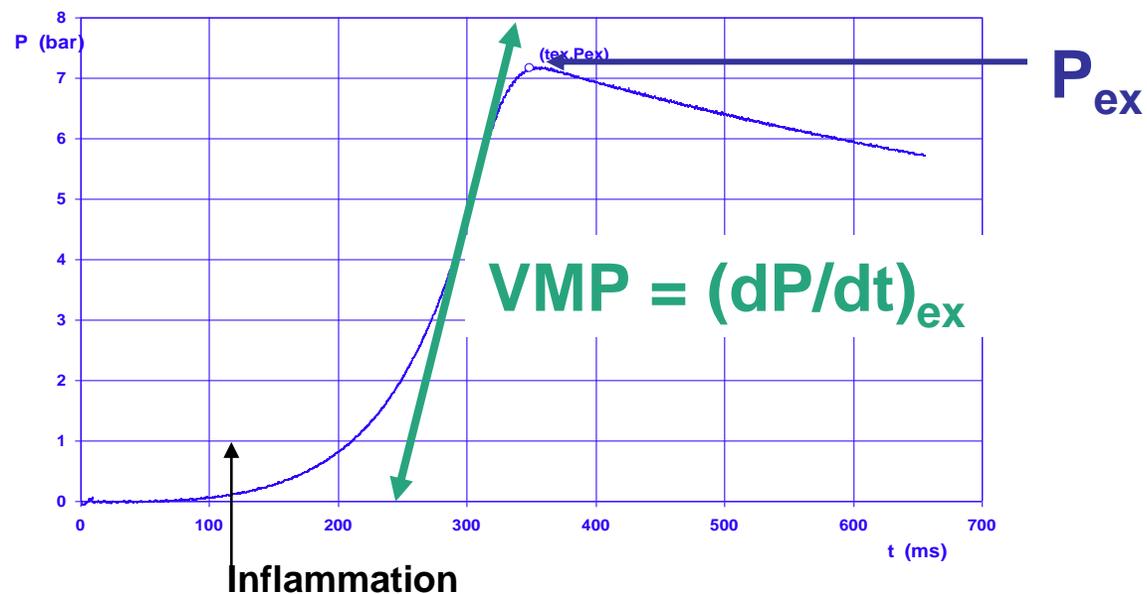
Définir une température limite de surface pour un matériel installé ou mis en œuvre en atmosphère explosible :

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

TMI couche : combustibilité et conductivité thermique (incendie)

Explosivité : P_{max}, KST, K_g

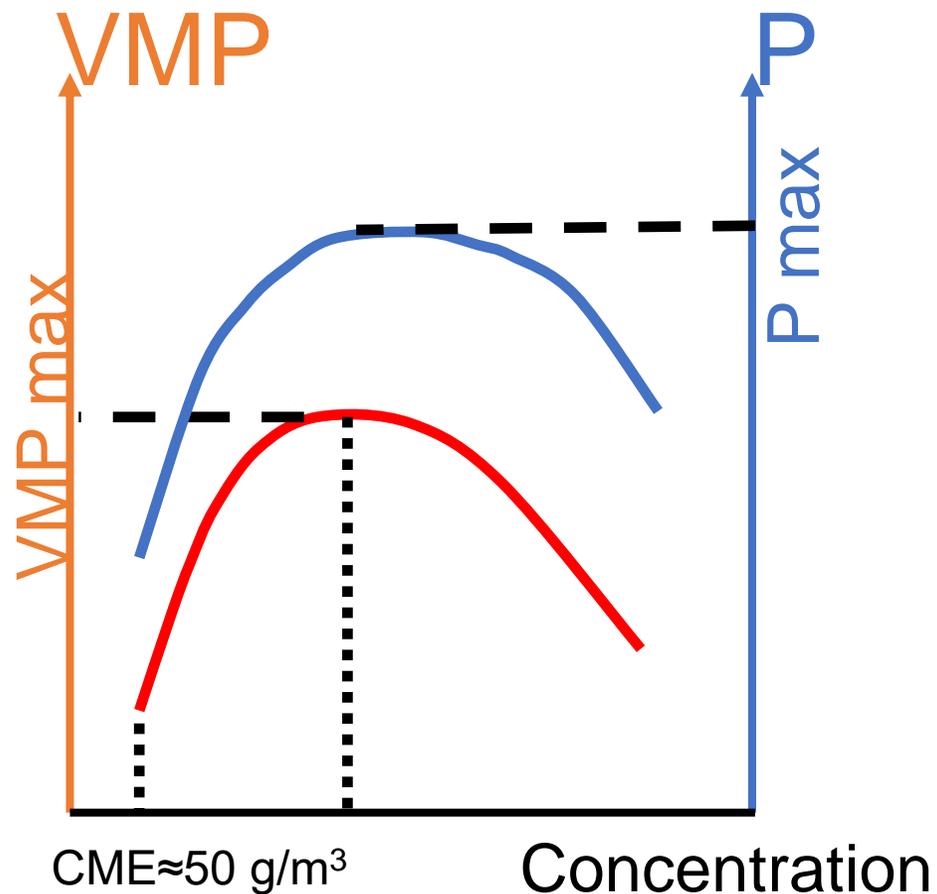
Au cours de l'explosion d'une ATEX en milieu confiné, la pression dans le confinement varie selon la courbe p(t)



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 : P_{max}, K_{ST}, K_g

Classes de poussière :

0	$< K_{st} < 200$	Classe St ₁
200	$\leq K_{st} < 300$	Classe St ₂
300	$\leq K_{st}$	Classe St ₃

➤ Note : pour les K_{ST} < 45 bar.m/s en sphère de 20 L, les poussières peuvent être non explosives en chambre 1 m³.

Produit	K _{st} (bar.m/s)	P _{max} (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 _g (bar.m/s)	P _{max} (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** : $P_{\text{expl}} \times \text{Gravité}$. 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**.

Méthodologie analyse de risque

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

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)

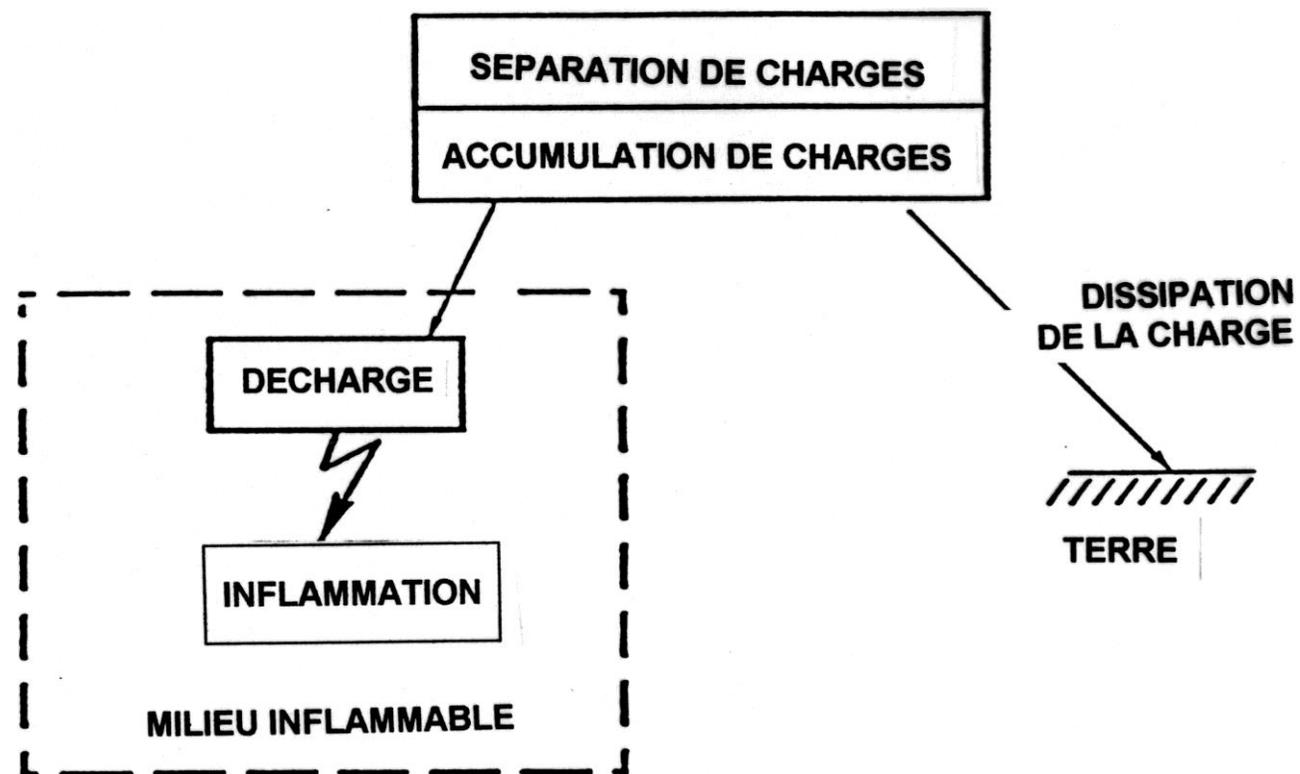
Sources d'inflammation : cas de l'électricité statique

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

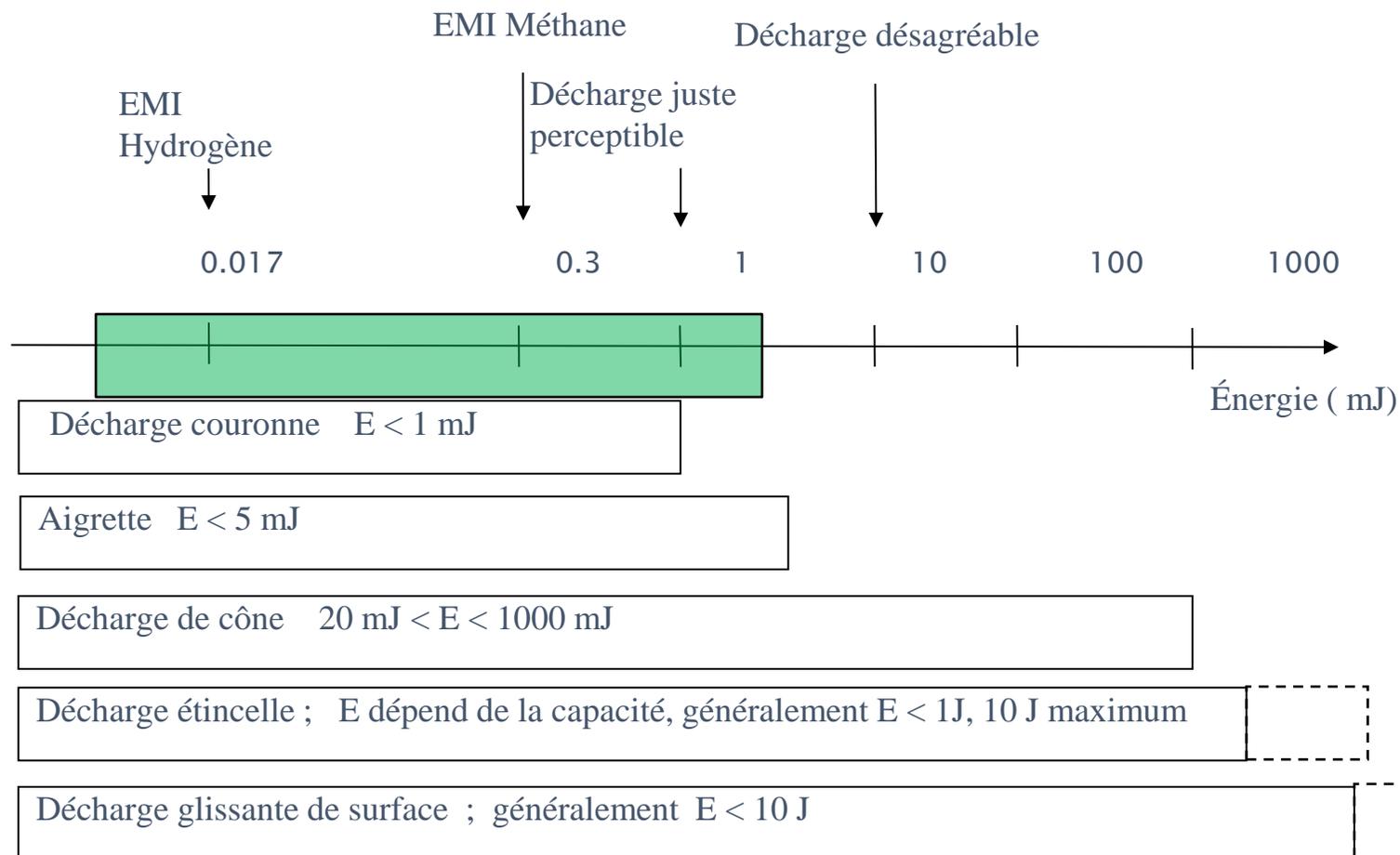
Sources d'inflammation : cas de l'électricité statique

Phénomène dynamique

Compétition entre dissipation par rayonnement et décharge



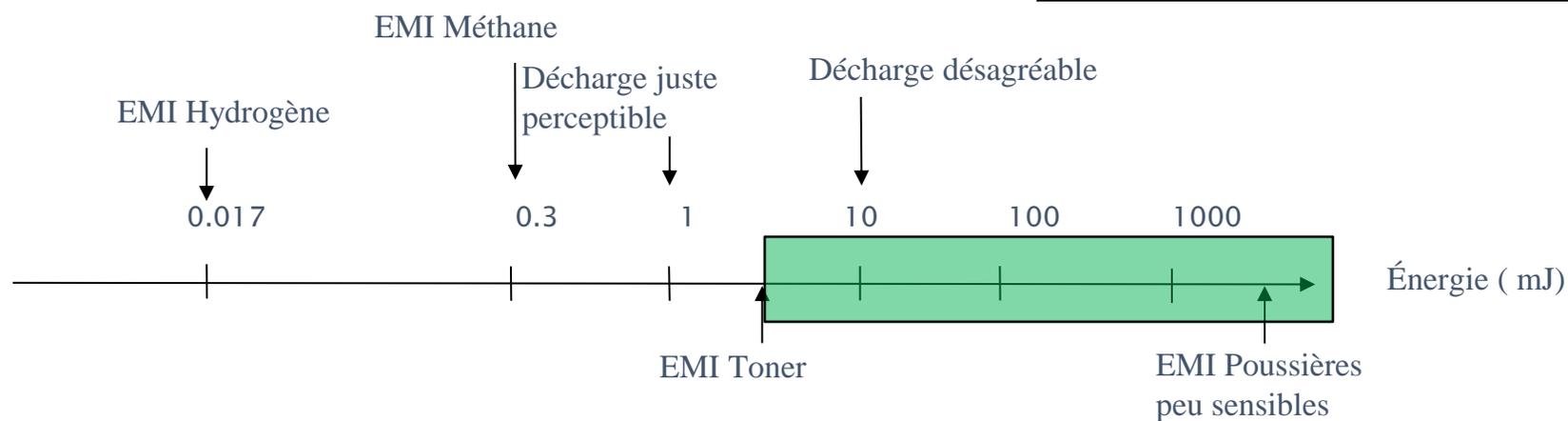
Sources d'inflammation : EMI gaz et vapeur



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



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"> • Décharge de surface isolantes chargées par frottement, soit de matière continue (courroie de machine), soit de manière aléatoire (coffret isolant de matériel électrique) • Les décharges de surfaces des liquides isolants sont un cas particulier de décharge en aigrette
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 μm) amplifie le phénomène

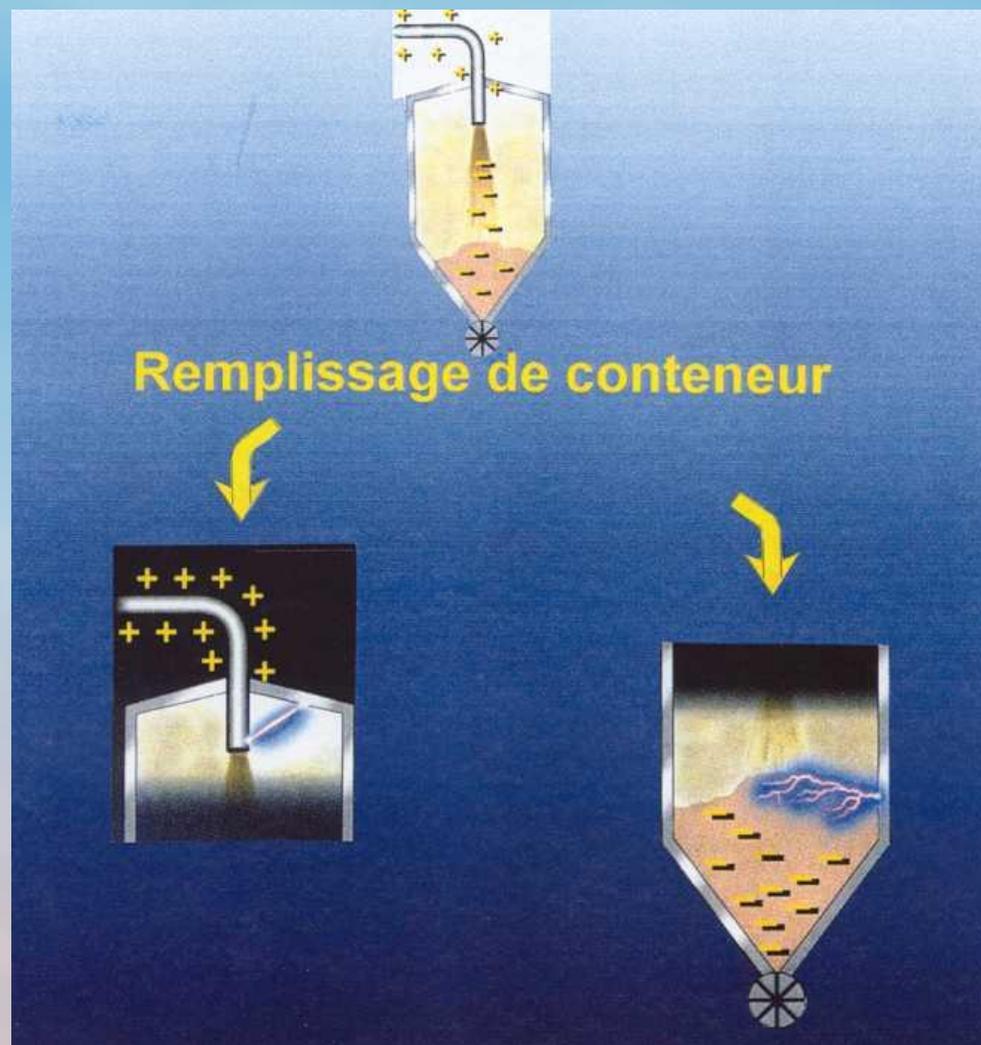
Exemple de situations industrielles

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"> • Dans le cas des opérations et processus industriels, $I_{\max} = 10^{-4}$ A • Dans le cas des opérations où la vitesse de séparation est limitée à 1m/s, $I_{\max} = 10^{-6}$ A
Exemple de situations industrielles	<ul style="list-style-type: none"> • Tronçon de conduite électriquement isolé qui se charge du fait de l'écoulement d'un liquide ou d'un pulvérulent dans la conduite • Décharge provoquée par une personne chargée d'électricité statique (charge due à la marche, à l'électrisation par influence, etc...)
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 : $W = \frac{1}{2} CV^2$</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

Étincelle

- 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

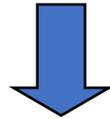
- Utiliser des tuyaux conducteurs, conduits d'aspiration, etc., conducteurs
- Limiter l'utilisation des matériaux non homogènes, tels que les canalisations en matériaux composites (conducteurs /isolants)
- Ne pas utiliser des matériaux isolants ayant une tension de claquage supérieure à 4 kV

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...),

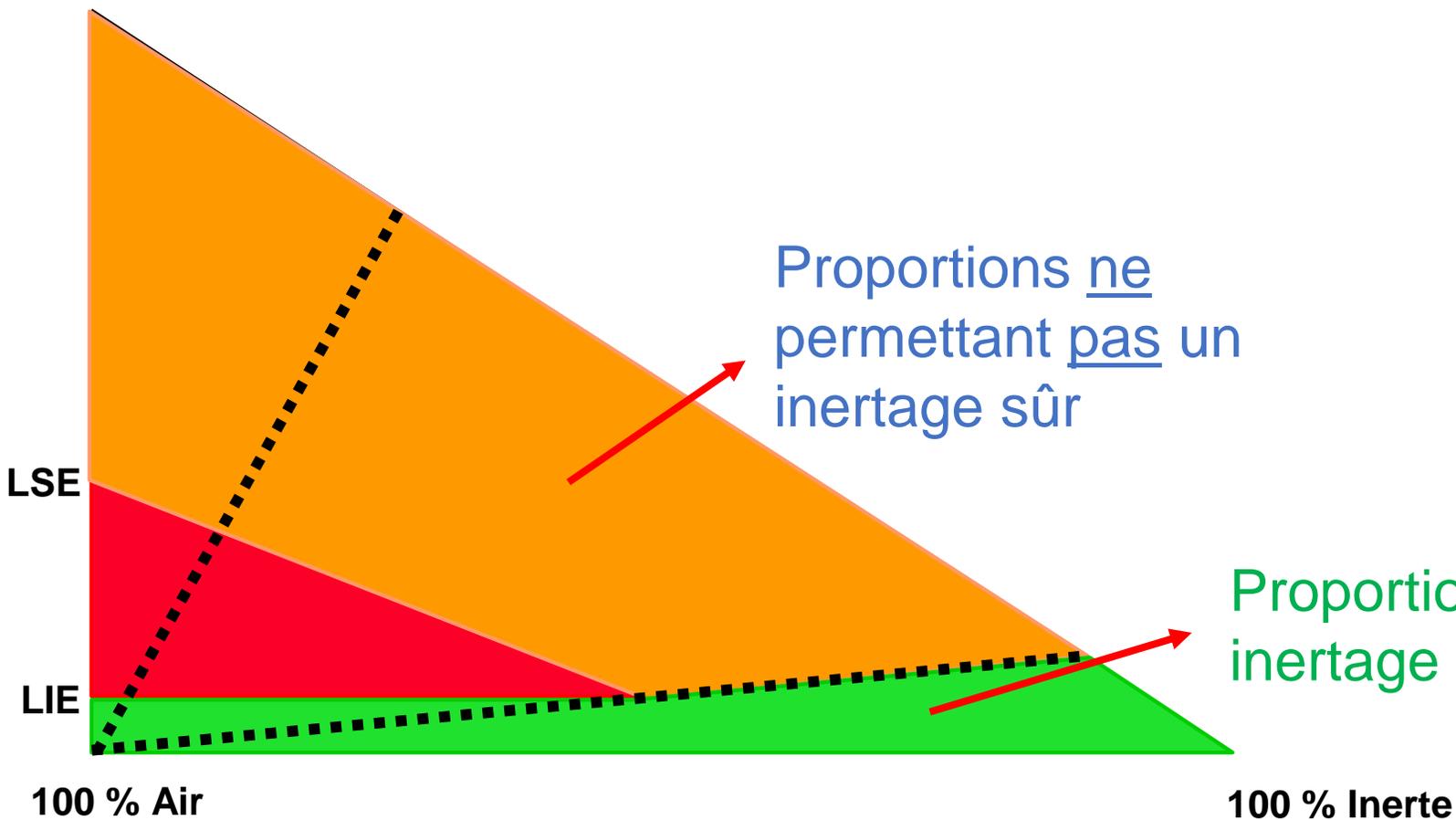
En **dernier recours** (risque d'anoxie, coûteux, appareil clos, contrôle de la teneur en O_2 , mise en repli sur alerte),

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

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

Prévention des explosions d'ATEX : inertage

100 % Combustible

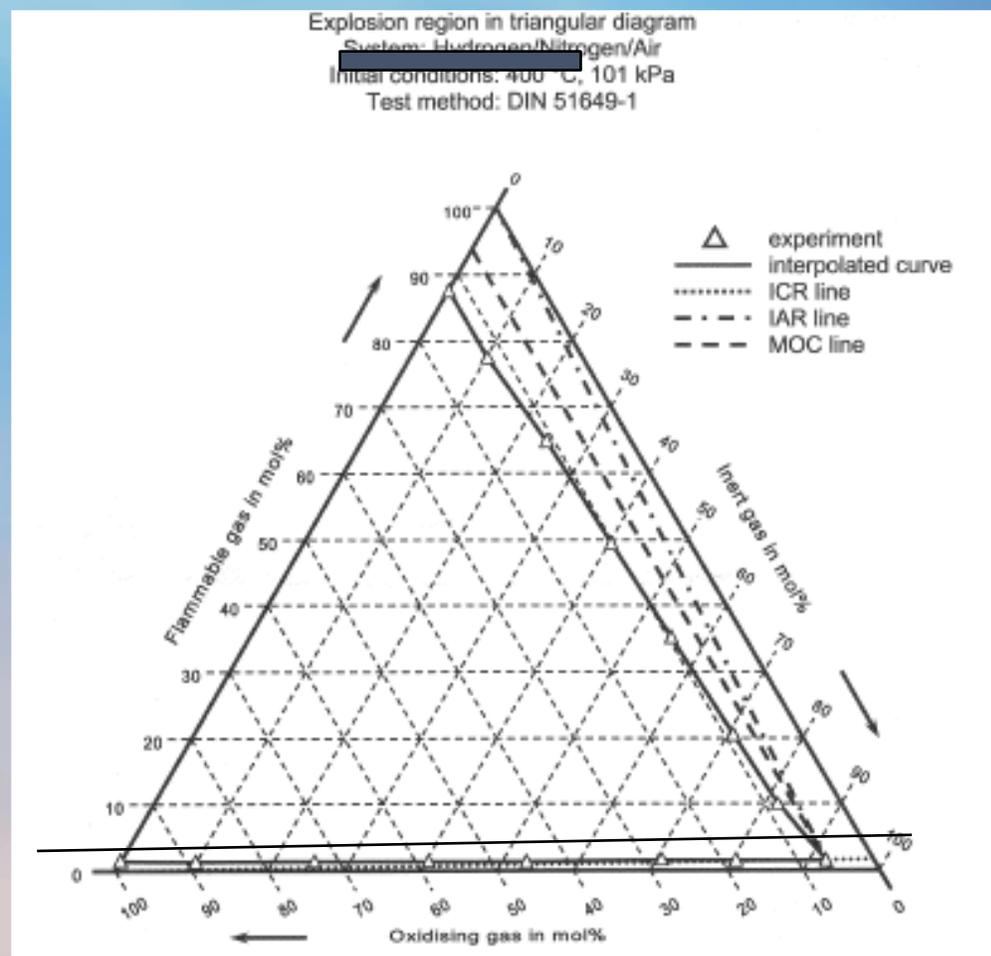
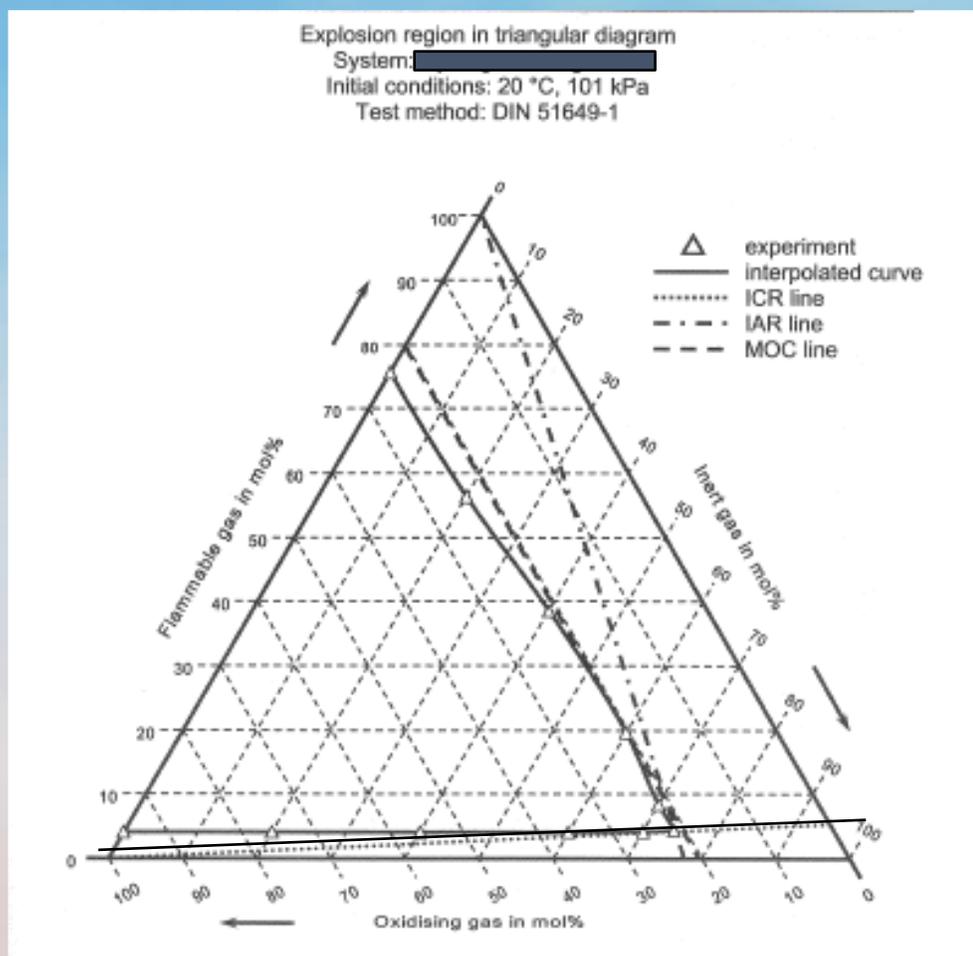


Proportions ne
permettant pas un
inertage sûr

Proportions permettant un
inertage sûr

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

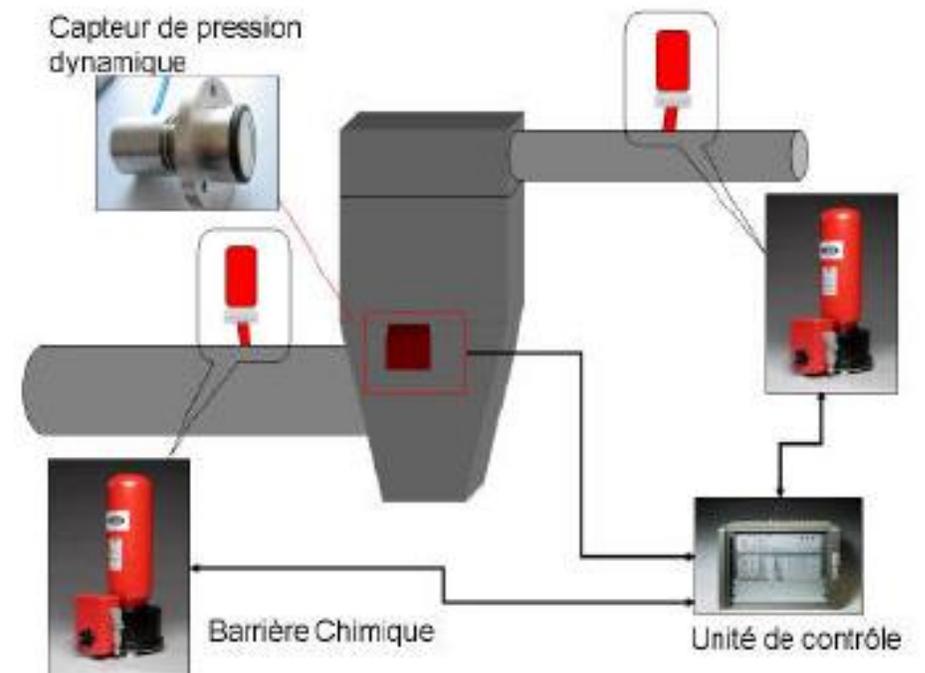
- Un **suppresseur** d'explosion est un **système d'extinction très rapide** (opère en quelques dizaines de ms seulement) injectant de la **poudre** ou de l'**eau** micronisée **en amont** d'une explosion
- Le déclenchement du système d'extinction est actionné dès qu'un **système de détection** associé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

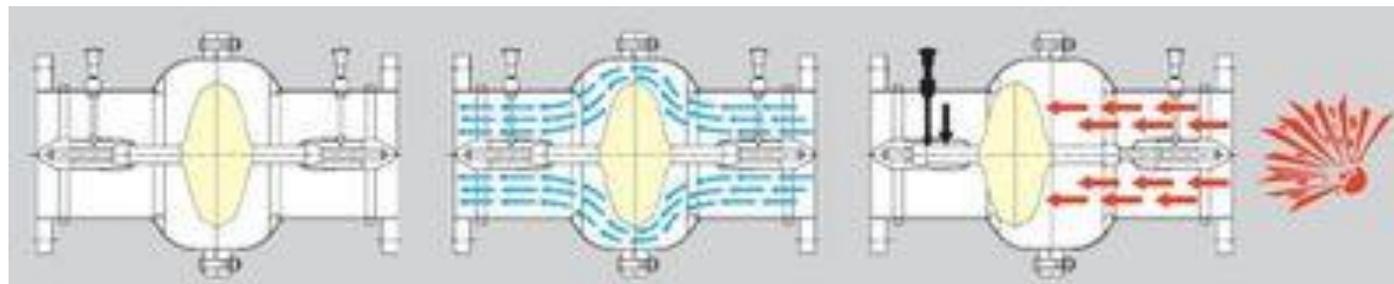
La hauteur du triangle élémentaire est liée à la valeur de l'IEMS (interstice maximal expérimental de sécurité) de l'ATEX considérée (= à chaque substance susceptible de former une ATEX il existe une distance de coincement)

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 événement contre les explosions de poussières : norme EN 14491.

Dispositifs de décharge d'explosion : norme EN 14797.

Systèmes de protection par événement 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 Relatif à la Protection Contre les Explosions

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)

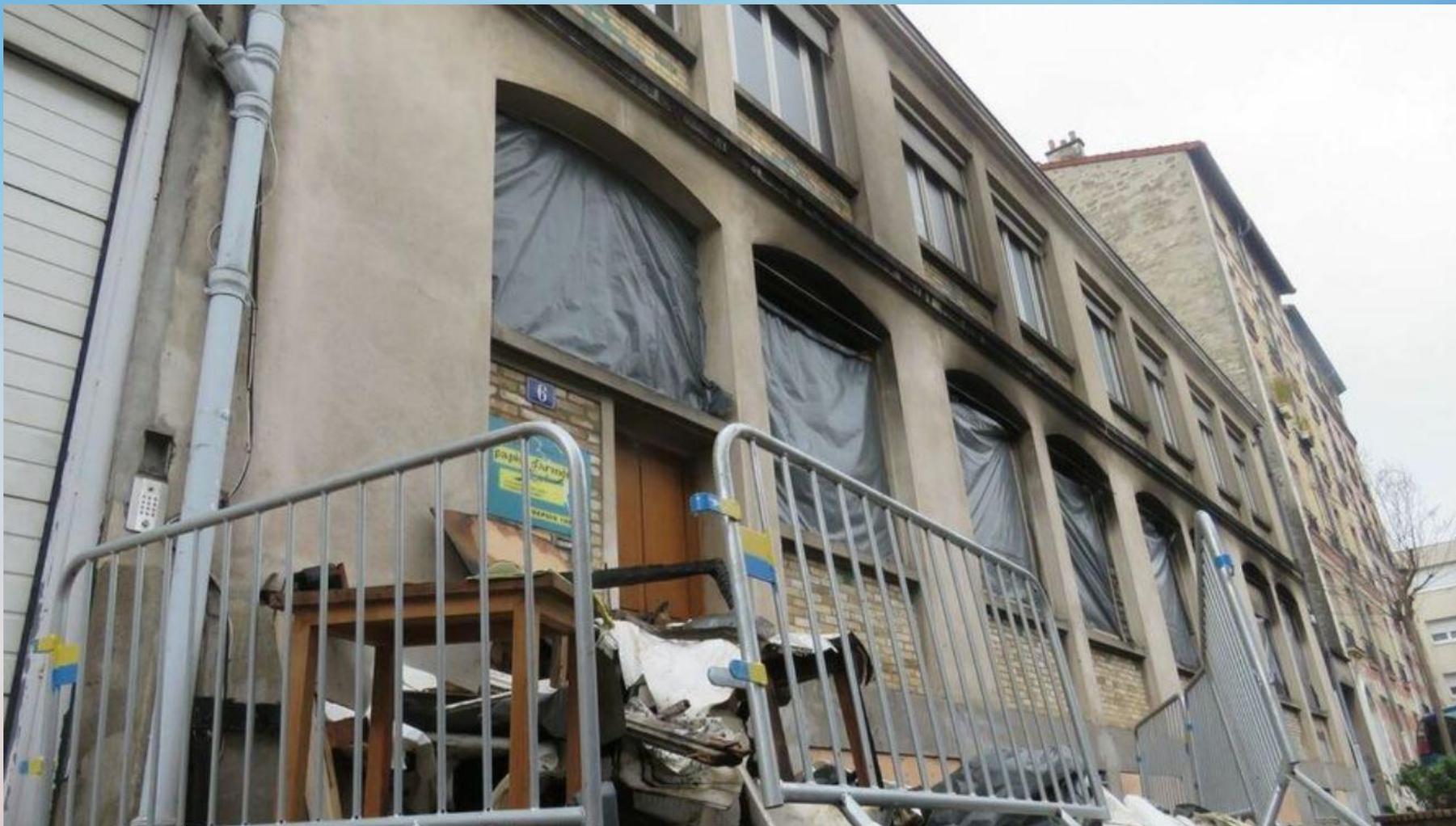
TD TS01 ATEX

Etudes de cas

TD TS01 ATEX

Vidéo méthodologie

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

- 9 salariés présents, évacués
 - Salariés piégés au 1^{er} 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)

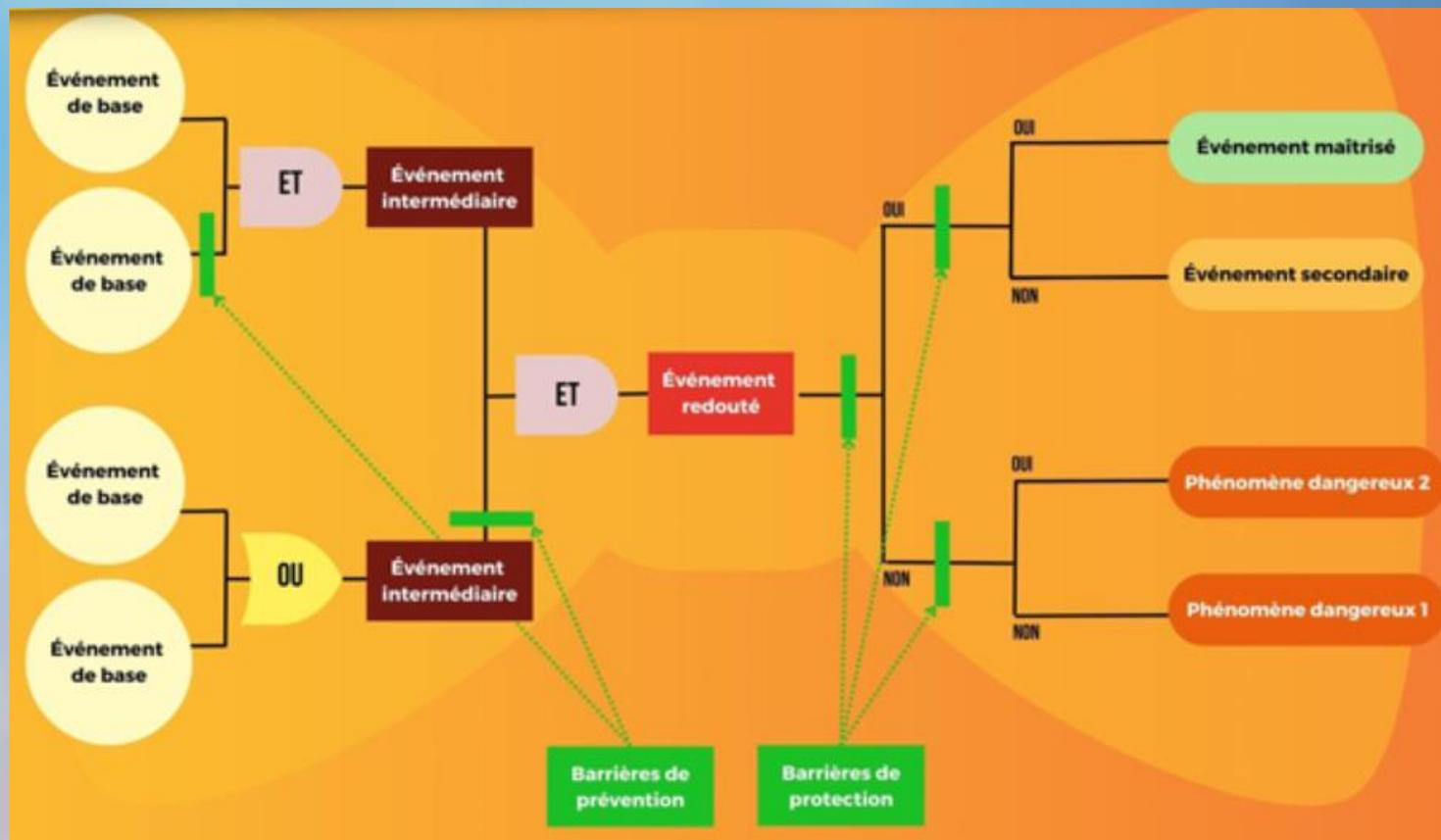
- Imprégnation du papier de la solution d'éthanol parfumée
- Séchage en étuve (40 à 60 °C), condensation des vapeurs à l'extraction et recyclage partiel de l'air

Pressage, découpe, assemblage et emballage du papier

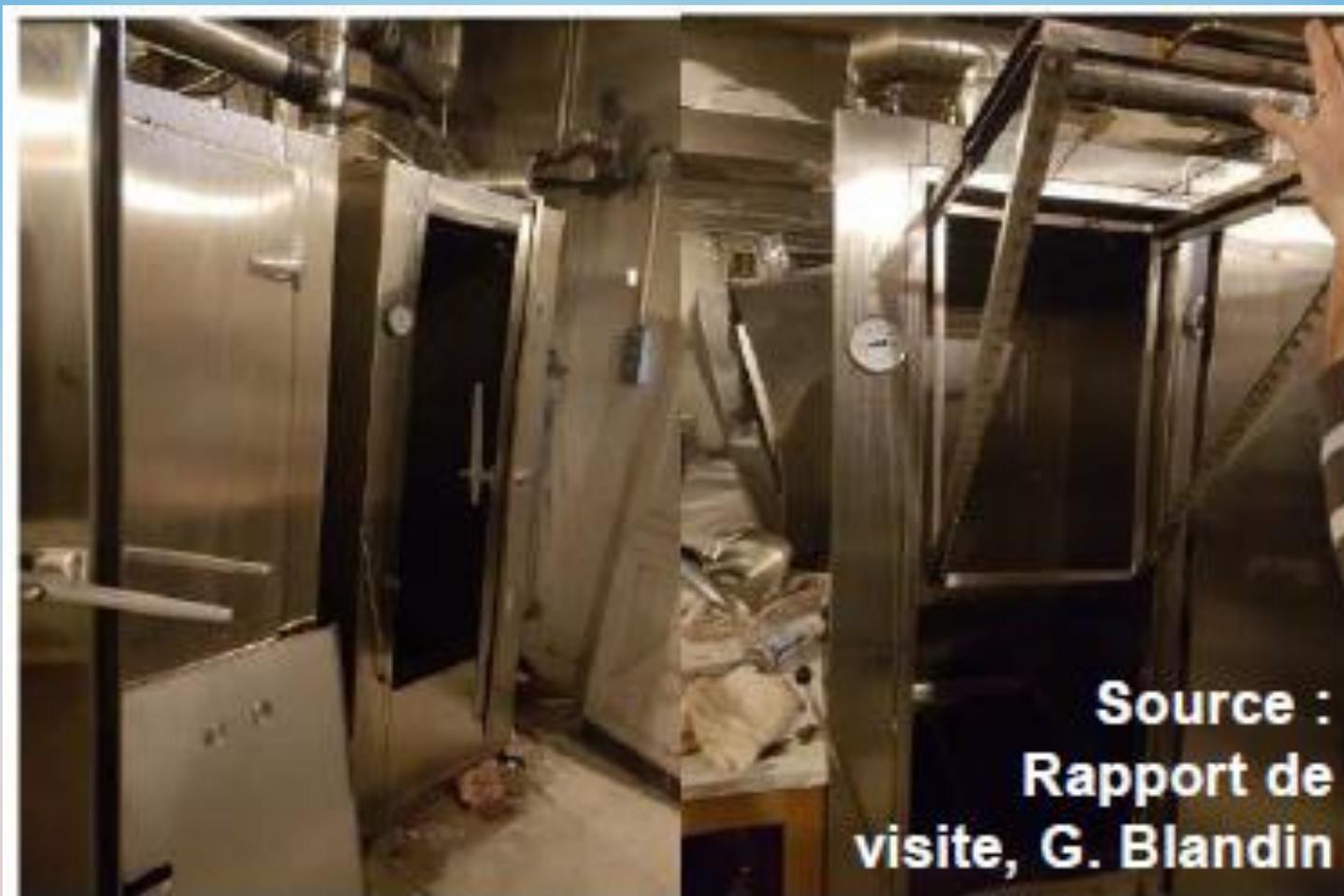
Présentation d'un cas concret : Papier d'Arménie (2017)

Que s'est-il passé ?

- Faire un arbre des défaillances (causes)
- Lister les sources d'inflammation possibles
- Faire un arbre des conséquences



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



Source :
Rapport de
visite, G. Blandin

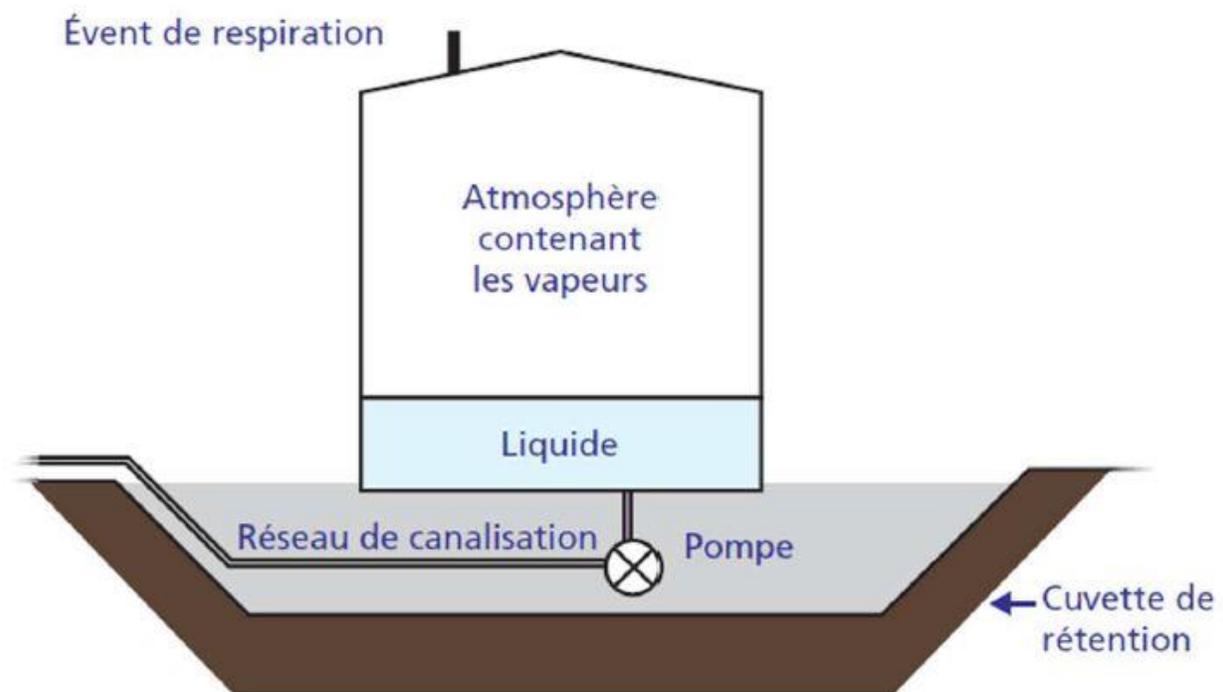
Etuves en inox avec bras amovible pour accrocher les feuilles

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

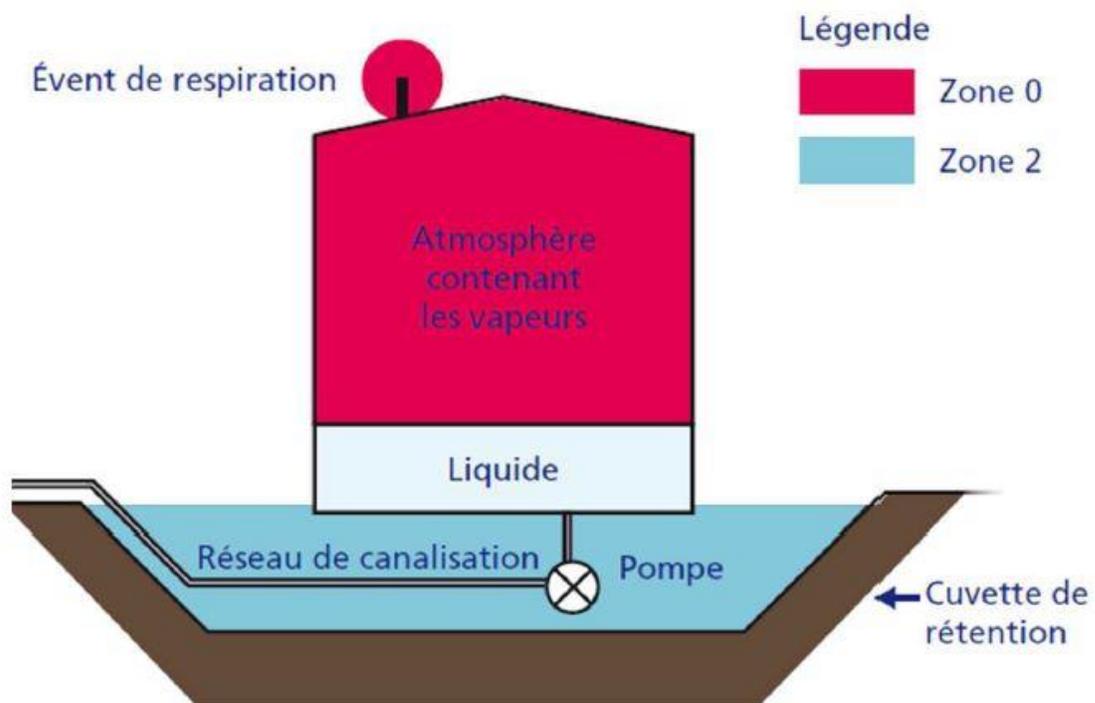
- Explosion d'une étuve de séchage de papier imprégné d'une solution à base d'éthanol
- ATEX éthanol/air à l'intérieur de l'étuve et dans les conduits d'extraction ?
- Source d'inflammation : ventilateur d'extraction (remplacement le 27/01/17) ? Non certifié ATEX et intervention de maintenance précédant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



Cuve de stockage

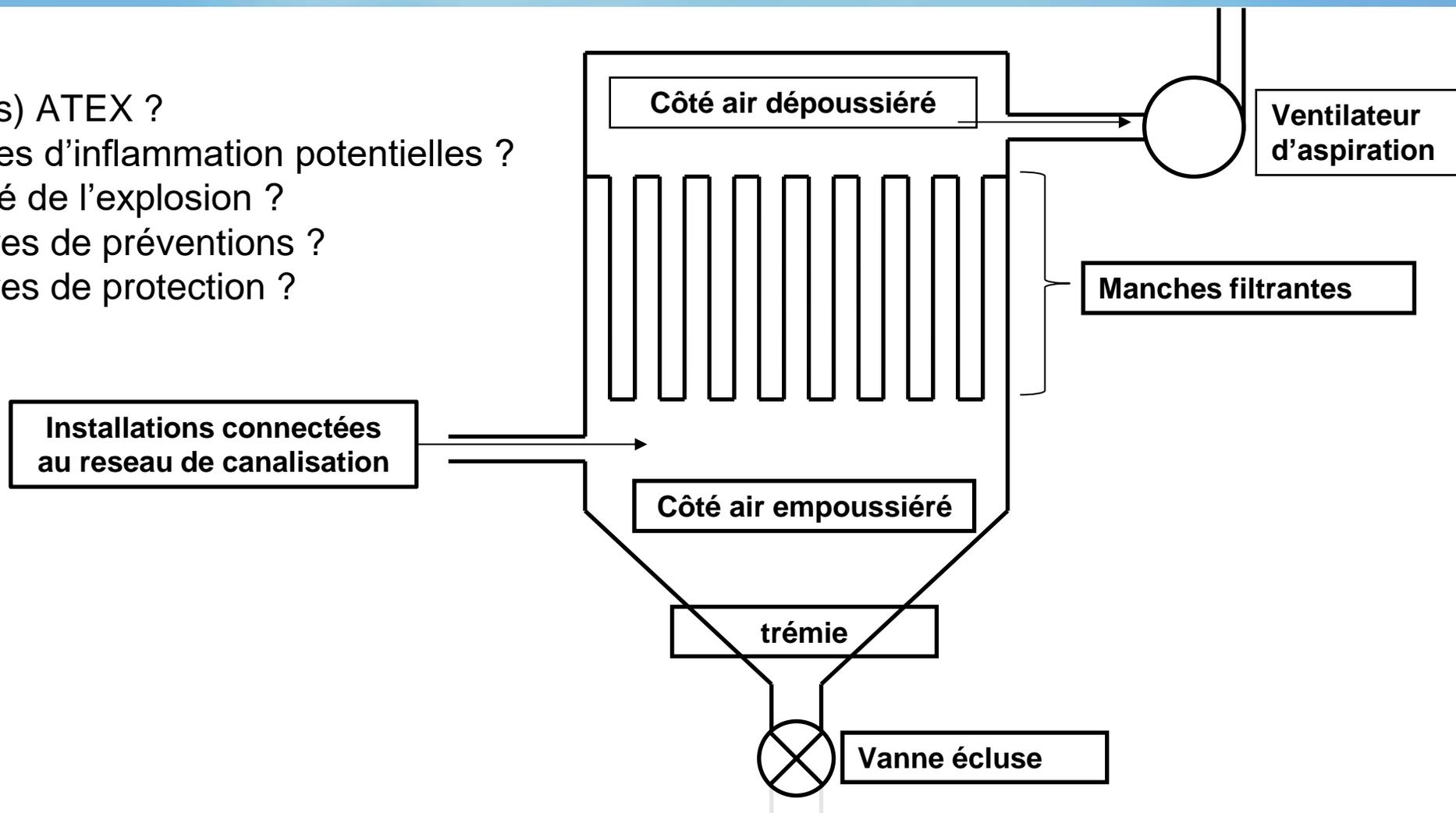


Cuve de stockage

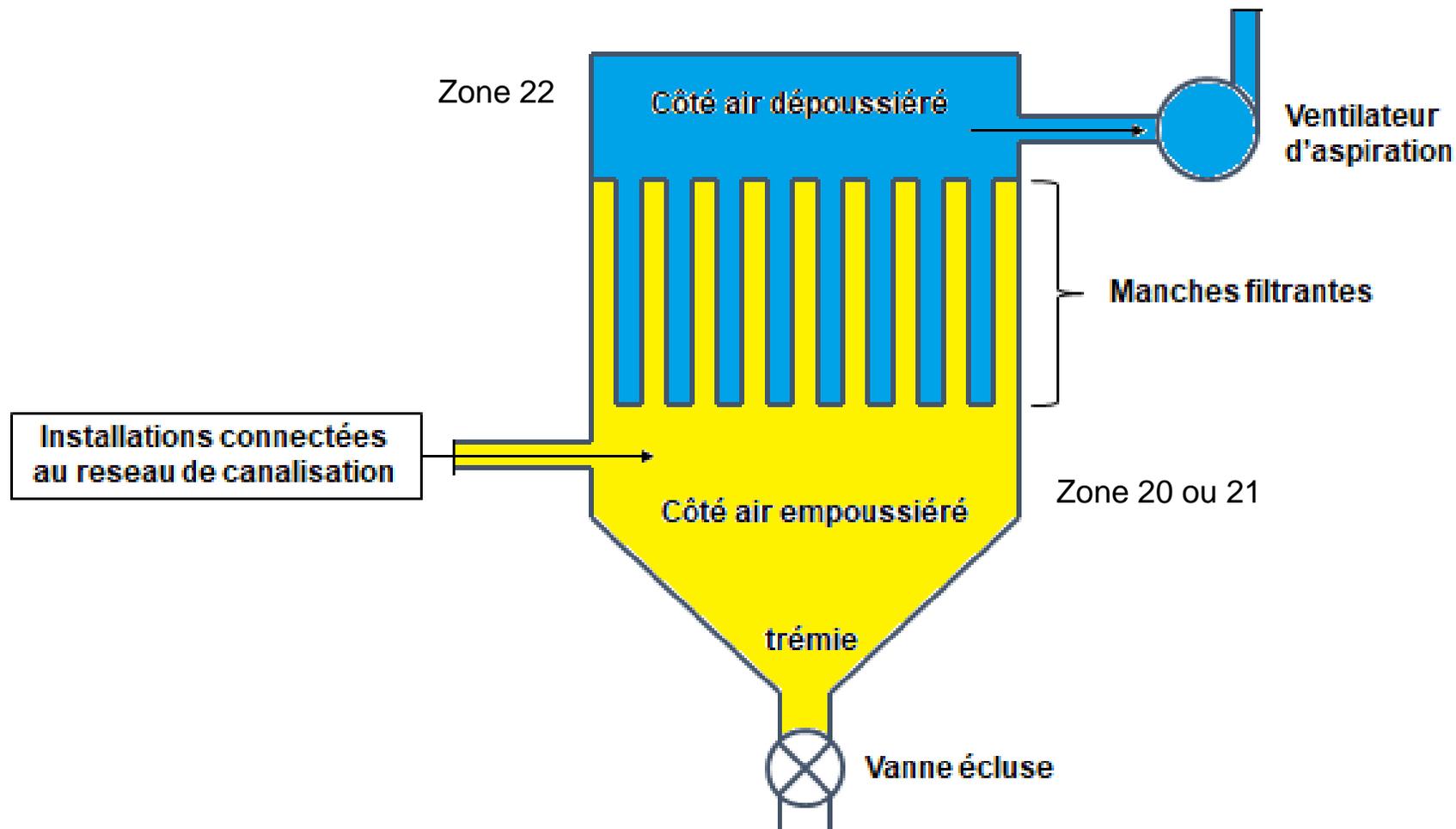


Système d'aspiration

1. Zone(s) ATEX ?
2. Sources d'inflammation potentielles ?
3. Gravité de l'explosion ?
4. Mesures de préventions ?
5. Mesures de protection ?



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

...

Systeme 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 et de protection

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

Il est de plus difficile de garantir l'absence d'une source d'inflammation de l'ATEX formée dans le filtre

→ **Augmenter la protection**

Systeme d'aspiration

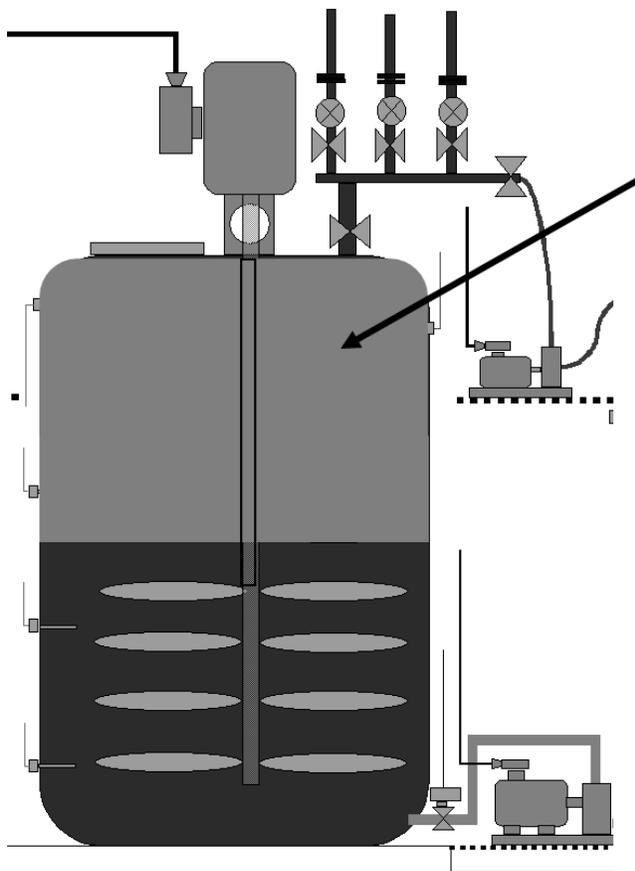
Mesures de protection

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



Ethanol (Source: CarAtex)
LIE : 3,1 %
LSE: 19 %
Psat à 20°C : 6,67 kPa

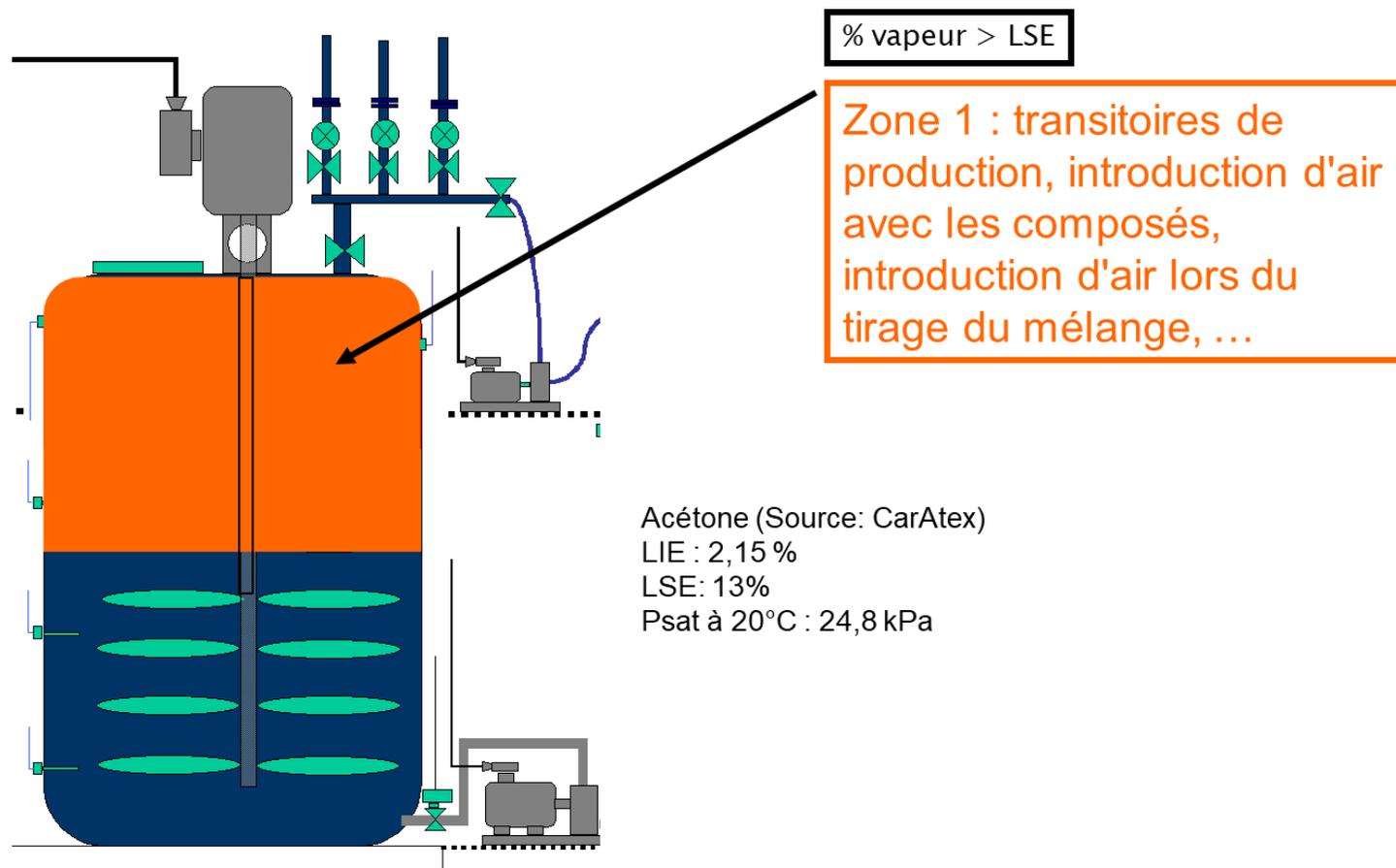
Acétone (Source: CarAtex)
LIE : 2,15 %
LSE: 13%
Psat à 20°C : 24,8 kPa

Liquide inflammable

Cas n°1 : cuve contenant de l'acétone (PE = -20°C) à température ambiante (20°C)

Liquide inflammable

Cas n°1 : cuve contenant de l'acétone (PE = -20°C) à température ambiante (20°C)

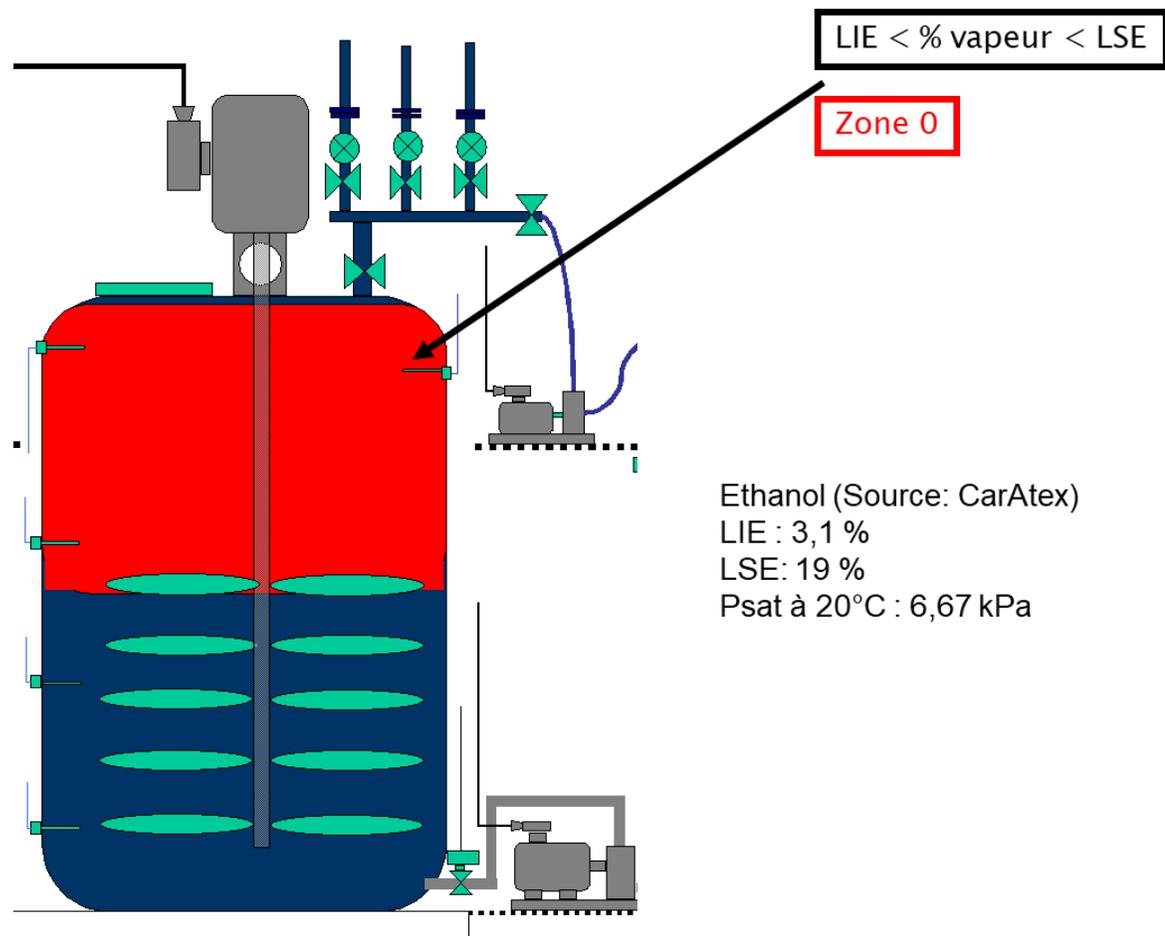


Liquide inflammable

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

Liquide inflammable

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



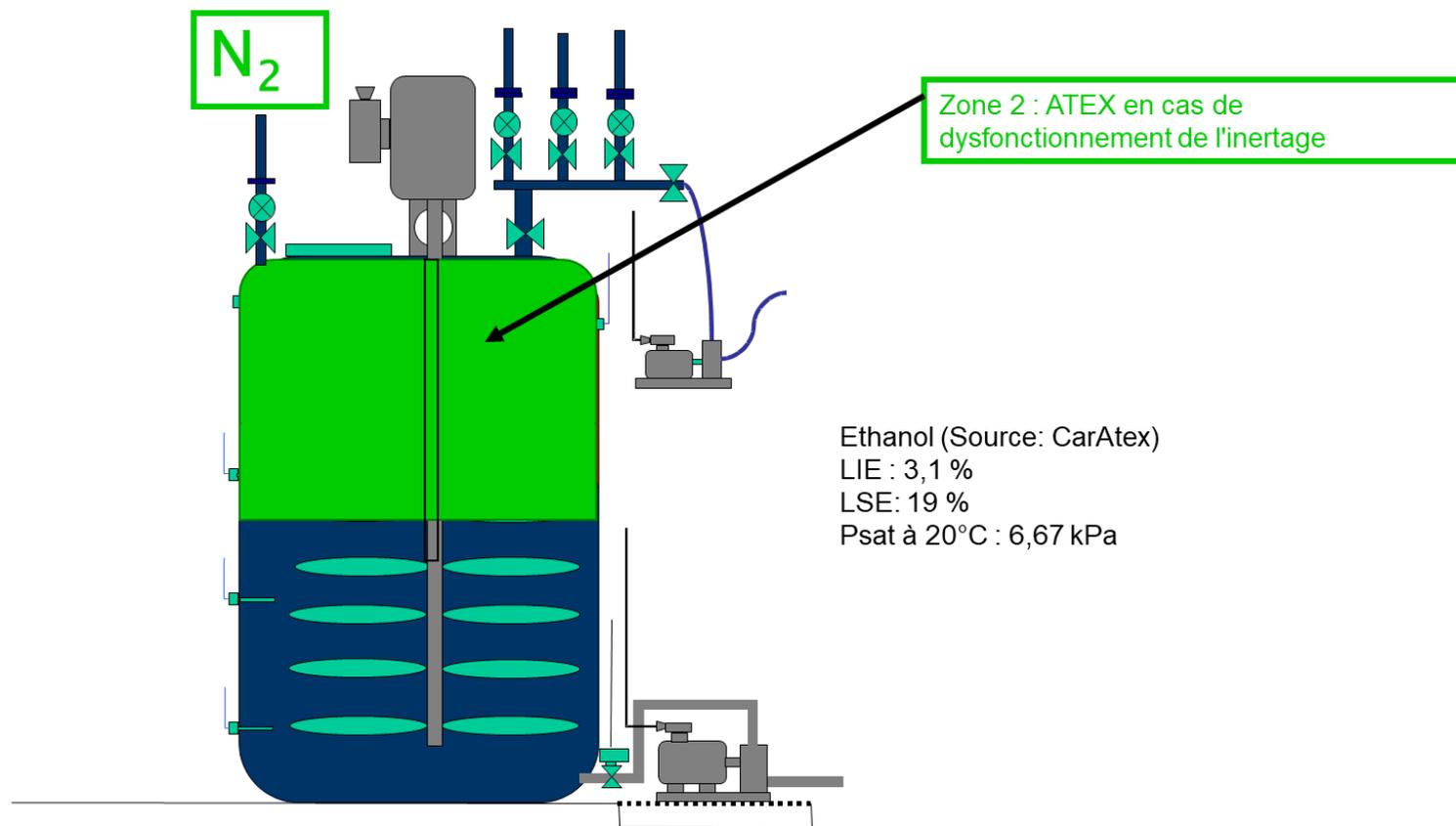
Ethanol (Source: CarAtex)
LIE : 3,1 %
LSE: 19 %
Psat à 20°C : 6,67 kPa

Liquide inflammable

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

Liquide inflammable

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

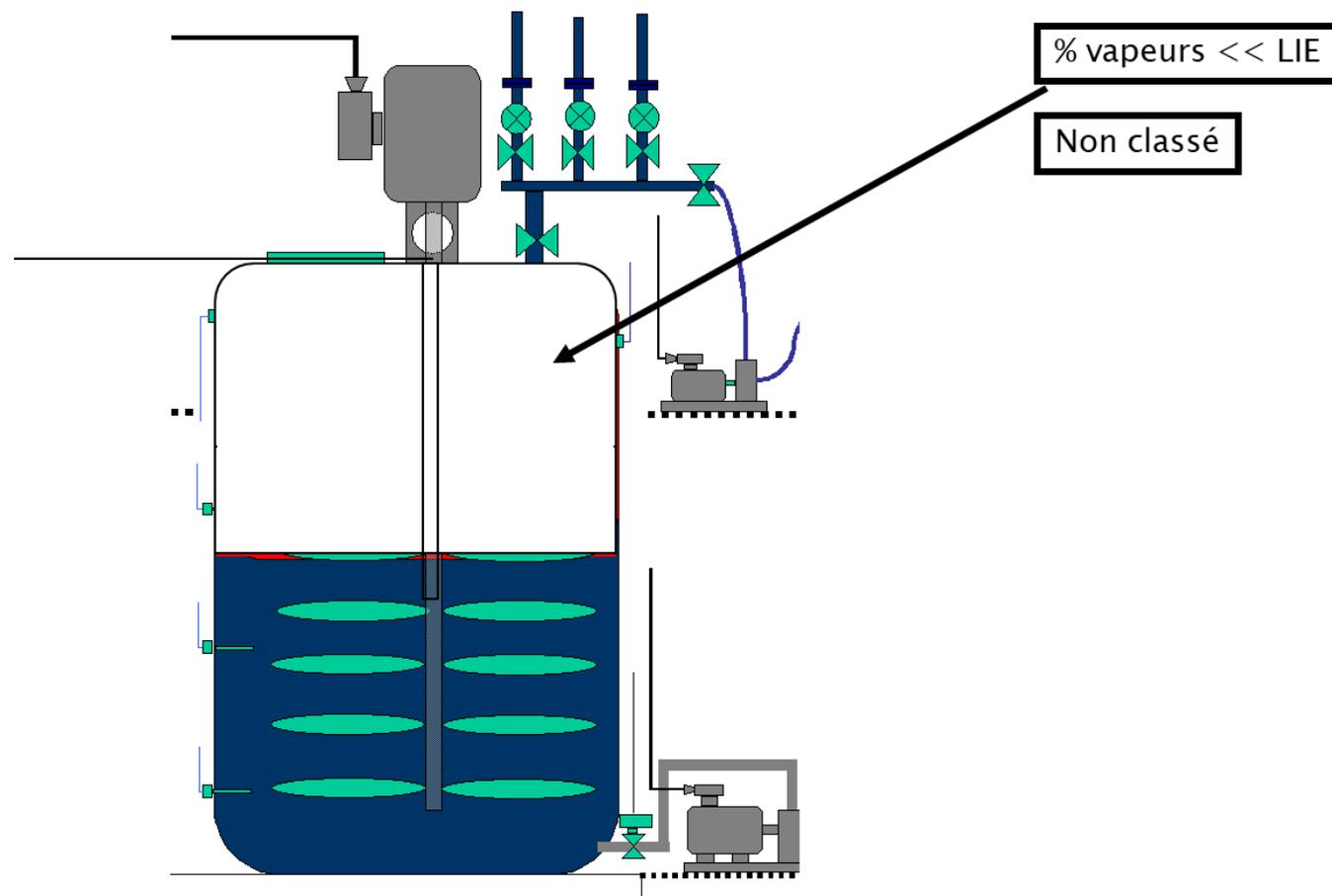


Liquide inflammable

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

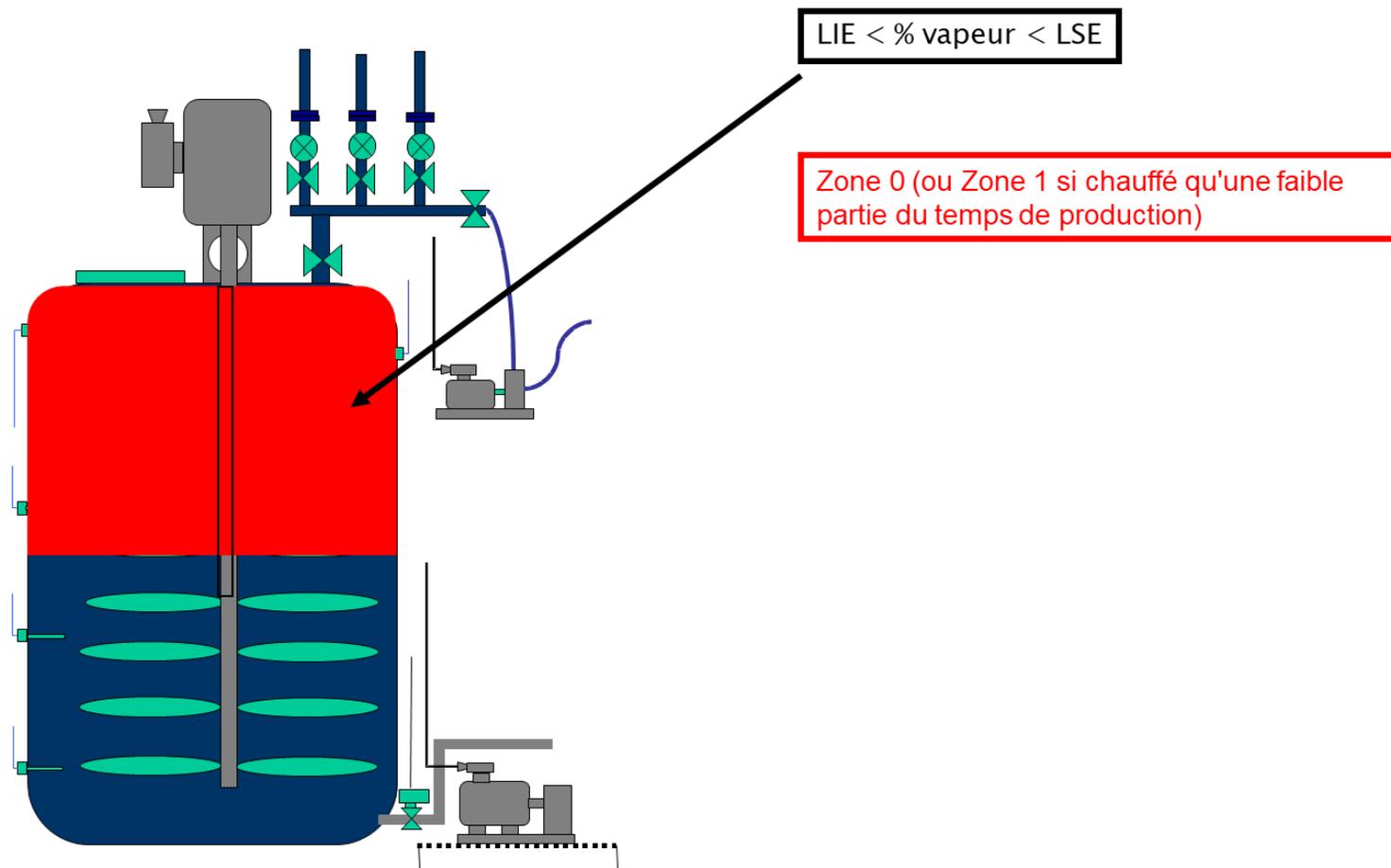


Liquide inflammable

Cas n°5 : cuve contenant un mélange eau/éthanol à 5% d'alcool (PE = 62°C) chauffé à $T = 70^{\circ}\text{C}$

Liquide inflammable

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

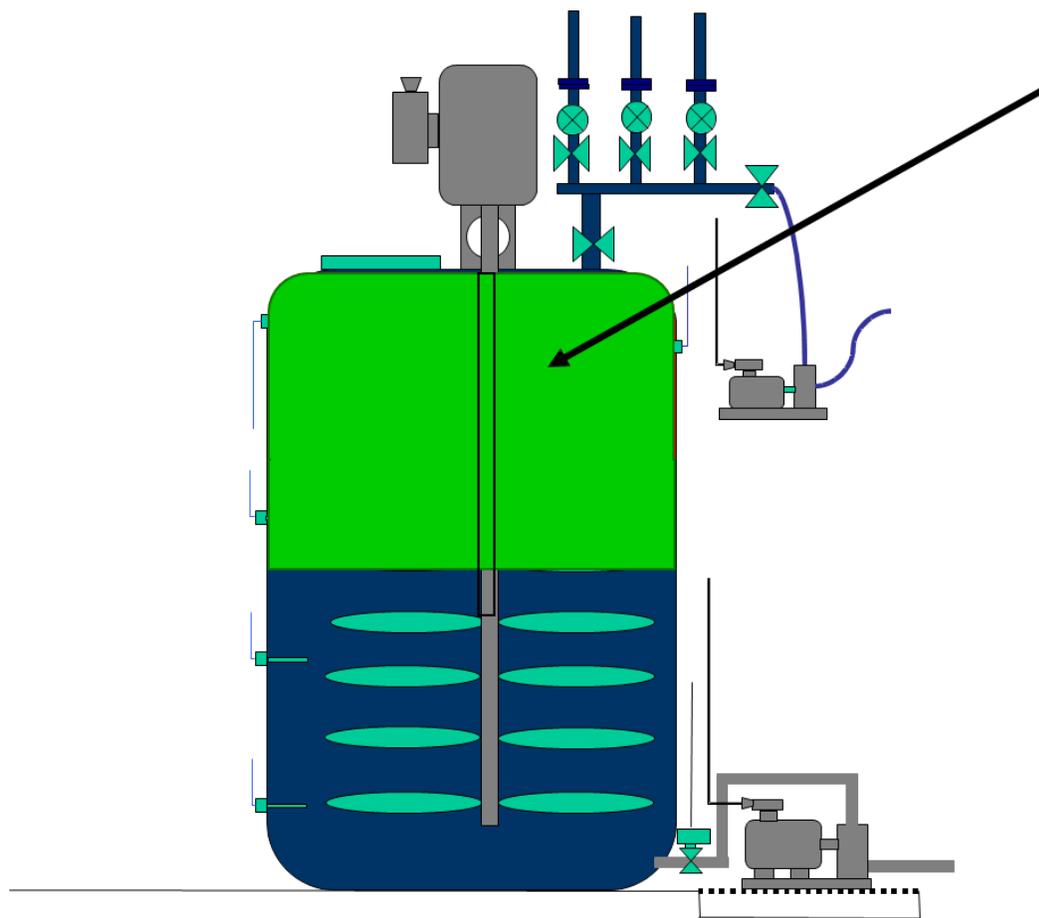


Liquide inflammable

Cas n°6 : cuve contenant un mélange eau/éthanol à 5% d'alcool (PE = 62°C) chauffé à $T = 45^{\circ}\text{C}$

Liquide inflammable

Cas n°6 : cuve contenant un mélange eau/éthanol à 5% d'alcool (PE = 62°C) chauffé à $T = 45^{\circ}\text{C}$



Zone 2 : ATEX en cas de dysfonctionnement du système de chauffage (particulièrement si électrique ou caloporteur haute température)

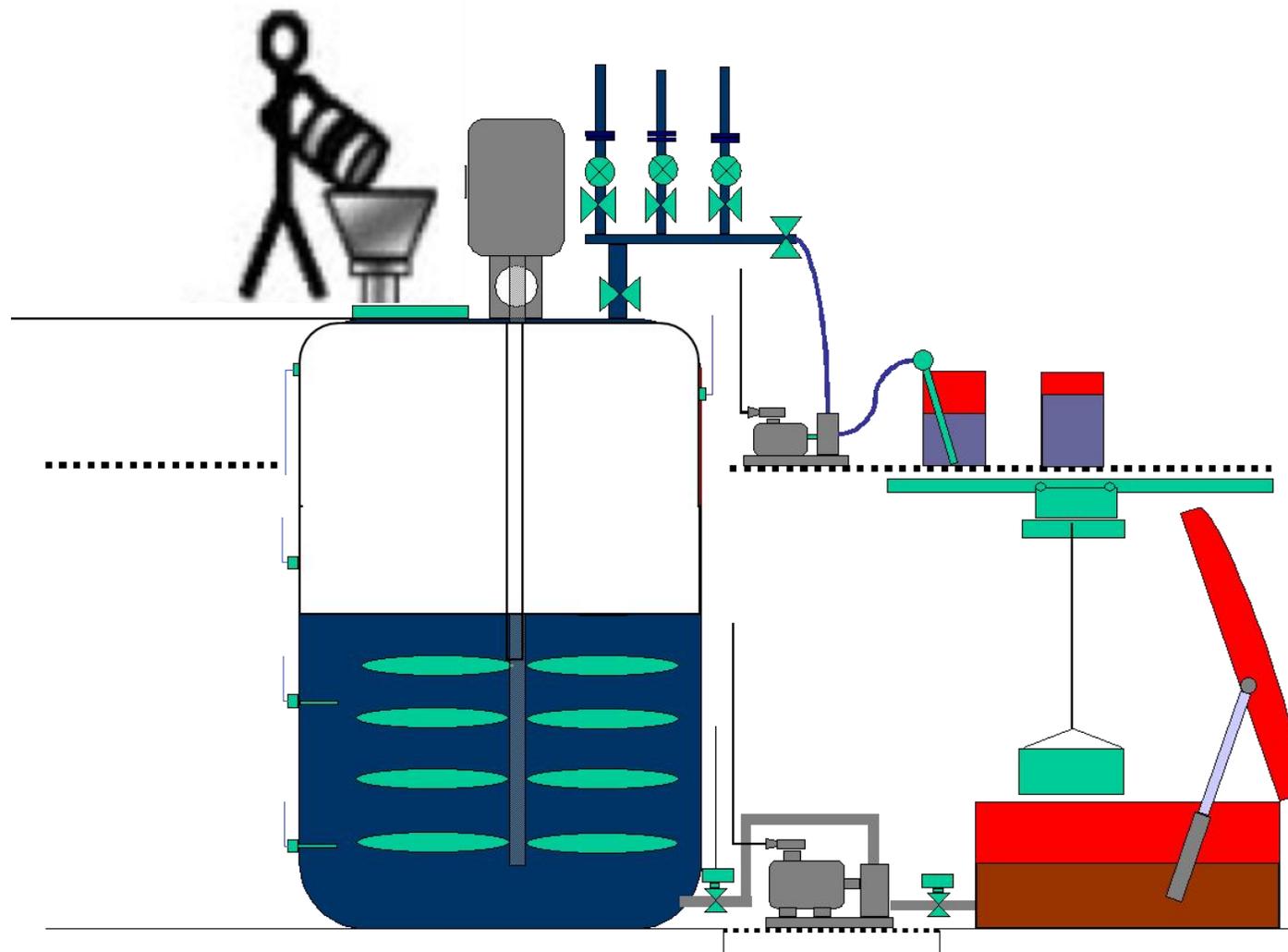
Liquide inflammable

Mesures de prévention possibles concernant le combustible ?

Mesures de prévention possibles 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 ($T < PE$),
- 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 O₂ peut passer de 5 % à 12 % en moins de 2 minutes.

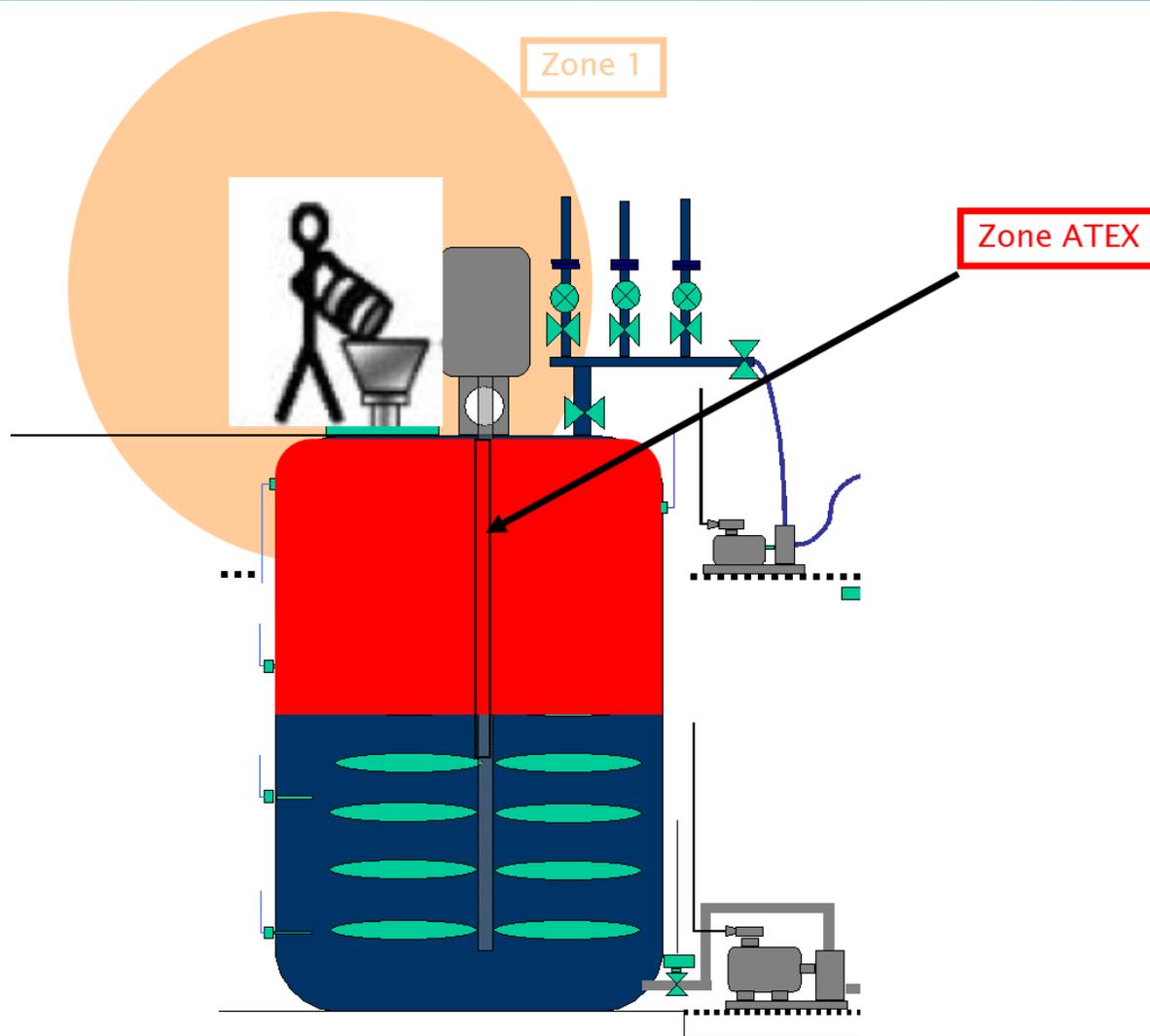
L'emplacement à proximité du trou d'homme est généralement une zone 1

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



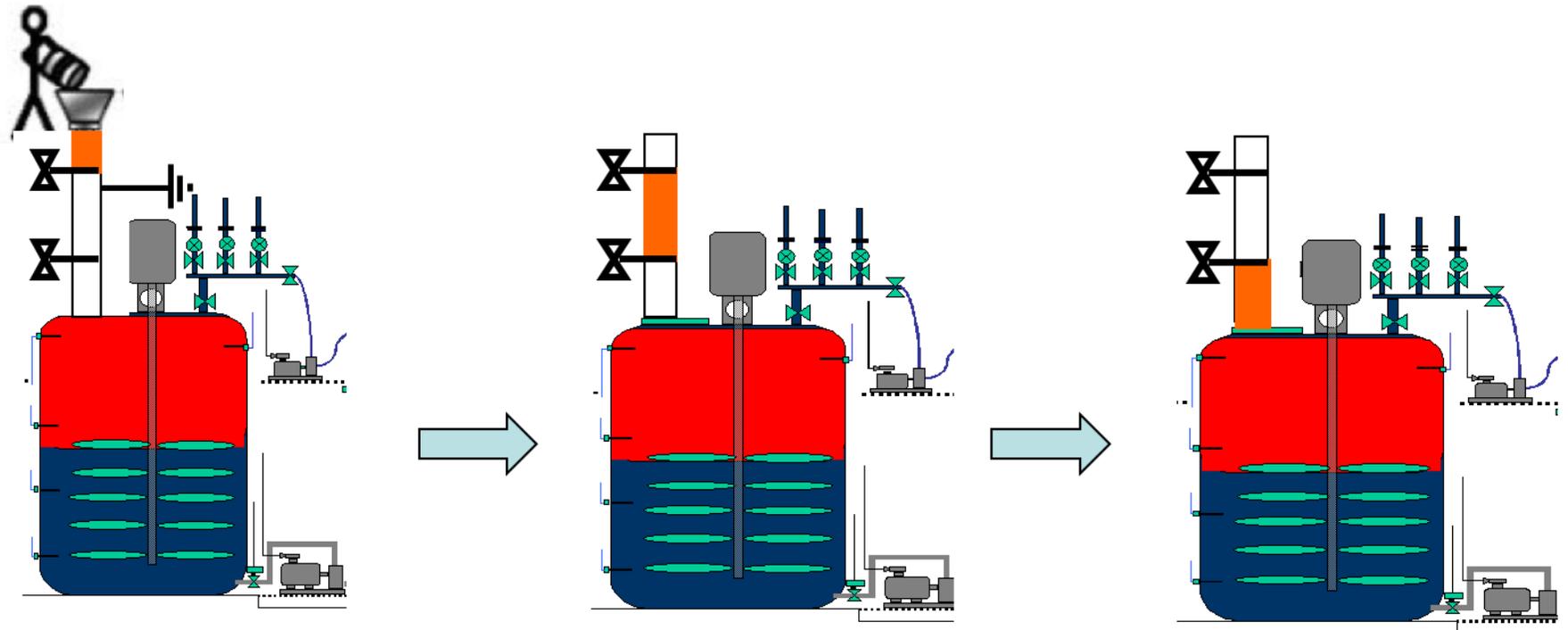
Poudres et poussières

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 sas conducteur électriquement (en métal),
2. puis l'opérateur **télécommande** le transfert automatique du solide du sas 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



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'H₂ ?

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 : **$Q=0,055.n.I_{\text{gas}}$** Où Q = débit d'air minimal de ventilation en m³/h ; n = nombre total d'éléments de batteries en charge simultanément ; I_{gas} = 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 Nm³/h ou si le débit n'est pas pérenne, nous proposons de retenir une zone 2 à l'intérieur du local.

Nombre de batteries N	Nombre d'éléments d'une batterie	I _{gas} courant d'électrolyse en A	Q débit minimal de ventilation requis Nm ³ /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
Continu	Non dangereuse (Zone 0 EN) ^a	Zone 2 (Zone 0 EN) ^a	Zone 1 (Zone 0 EN) ^a	Zone 0	Zone 0 + Zone 2	Zone 0 + Zone 1	Zone 0
Primaire	Non dangereuse (Zone 1 EN) ^a	Zone 2 (Zone 1 EN) ^a	Zone 2 (Zone 1 EN) ^a	Zone 1	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 ou zone 0 ^c
Secondaire^b	Non dangereuse (Zone 2 EN) ^a	Non dangereuse (Zone 2 EN) ^a	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 1 et même Zone 0 ^c

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 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

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