

**Note d'information**

**Etude de sécurité  
des procédés**

**Version de discussion**

**3/09/2010**

# Introduction

Cette note a pour objectif d'être un guide pour la réalisation des études de sécurité des procédés. Par étude de sécurité des procédés, on vise l'ensemble des études réalisées lors de la conception et des modifications d'installations de procédé avec pour objectif de prendre toutes les mesures nécessaires pour maîtriser les risques de libérations indésirées de substances ou d'énergie. Ces mesures feront principalement partie des installations elles-mêmes, mais à côté de cela, elles peuvent également concerner les bâtiments des sites Seveso, le lay-out du site, les utilitaires et autres.

Par "installations de procédé", on vise toutes les installations dans lesquelles des substances dangereuses sont stockées, traitées ou produites à l'échelle industrielle. Dans le contexte de cette note, nous considérons aussi, par exemple, les dépôts de substances dangereuses en emballages unitaires (fûts, bouteilles, containers...) comme installations de procédé. Nous visons en effet avec cette publication toutes les installations qui sont soumises à l'accord de coopération<sup>1</sup>. Cela n'empêche pas que cette approche des études de sécurité des procédés expliquée ici puisse aussi être appliquée pour des installations de procédé ne faisant pas partie d'une entreprise Seveso.

Dans le chapitre 1, nous expliquerons quelles dispositions de l'accord de coopération portent sur les études de sécurité des procédés. Dans le chapitre 2, nous donnerons un aperçu des études faisant partie de l'étude de sécurité des procédés d'un site Seveso. Dans ce chapitre, nous insisterons en plus sur l'importance d'une bonne documentation de l'étude de sécurité des procédés.

Dans les chapitres suivants, nous commenterons en détails chaque partie de l'étude de sécurité des procédés. Il est évident que certaines études seront plus ou moins pertinentes pour certaines entreprises en fonction de leurs activités, des substances présentes et de la présence d'éventuelles sources de danger externes.

La vision sur l'étude des risques de libérations indésirées décrite ici et la manière dont on met cette vision en pratique, n'a pas la prétention d'être l'unique méthode correcte. Le contenu de cette note n'a pas non plus de caractère contraignant. D'autres pratiques sont donc tout aussi acceptables, pour autant que celles-ci soient capables d'assurer une application équivalente des prescriptions réglementaires.

Lors de la rédaction de cette publication, les services d'inspection Seveso belges suivants ont été impliqués:

- a) pour la Région flamande:** de afdeling Milieu-inspectie van het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse Overheid, dienst Toezicht zwarerisicobedrijven
- b) pour la Région de Bruxelles-Capitale:** Bruxelles Environnement - IBGE
- c) au niveau fédéral:** la Division du contrôles des risques chimiques du SPF Emploi, Travail et Concertation sociale.

---

<sup>1</sup> Accord de coopération du 21 juin 1999 entre l'Etat fédéral, la Région flamande, la Région wallonne et la Région de Bruxelles-Capitale, concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses (M.B. du 16 juin 2001)

# Contenu

<b>1</b>	<b>L'ACCORD DE COOPERATION .....</b>	<b>5</b>
1.1	L'accord de coopération .....	6
1.2	Un accident majeur .....	7
1.3	Toutes les mesures nécessaires.....	7
1.4	Un niveau de protection élevé.....	10
1.5	Le devoir de preuve.....	10
1.6	Identification des dangers et évaluation des risques d'accidents majeurs.....	11
<b>2</b>	<b>LES PARTIES D'UNE ÉTUDE DE SÉCURITÉ DES PROCÉDÉS.....</b>	<b>13</b>
2.1	Les risques de libérations indésirées .....	14
2.2	Mesures pour la maîtrise des risques de procédé .....	21
2.3	L'identification et l'évaluation des risques de procédé .....	26
2.4	L'analyse des mesures .....	33
2.5	L'étude des dangers de procédé .....	35
2.6	La réalisation d'études de sécurité des procédés .....	37
2.7	La documentation des études de sécurité des procédés.....	40
<b>3</b>	<b>L'ÉTUDE DES DANGERS DE PROCÉDE .....</b>	<b>50</b>
3.1	Identification des substances dans l'installation .....	51
3.2	Recherche des propriétés des substances .....	52
3.3	Identification des réactions.....	55
3.4	Recherche des propriétés des réactions .....	56
3.5	Recherche sur la diminution du potentiel de danger .....	57
<b>4</b>	<b>MAÎTRISE DES DÉVIATIONS DE PROCÉDÉ.....</b>	<b>59</b>
4.1	Risques de libération dus à des déviations de procédé .....	60
4.2	Mesures pour éviter les libérations.....	65
4.3	Identification des risques de déviations de procédé .....	69
4.4	Evaluation des risques et spécification des mesures .....	73
<b>5</b>	<b>MAITRISE DE LA DEGRADATION DES ENVELOPPES.....</b>	<b>84</b>
5.1	Risques de dégradation de l'enveloppe .....	85
5.2	Mesures pour maîtriser les risques de dégradation .....	88
5.3	Identification des risques de dégradation .....	90
5.4	Evaluation des risques et spécification des mesures .....	93
<b>6</b>	<b>LIMITATION DE LIBERATIONS CONTINUES .....</b>	<b>97</b>
6.1	Risques de libérations continues.....	98
6.2	Mesures pour limiter les libérations continues.....	99
6.3	Identification des risques de libérations continues.....	105
6.4	Evaluation des risques et la spécification de mesures .....	107
<b>7</b>	<b>MAITRISE DE LA DISPERSION DE SUBSTANCES ET D'ÉNERGIE .....</b>	<b>111</b>
7.1	Les risques de la dispersion .....	112
7.2	Mesures pour maîtriser la dispersion .....	113
7.3	Identification des risques de dispersion des substances et d'énergie .....	117
7.4	Evaluation des risques et spécification des mesures .....	120
<b>8</b>	<b>EVITER DES SOURCES D'IGNITION .....</b>	<b>122</b>
8.1	Risque d'ignition d'une atmosphère explosive.....	123
8.2	Mesures pour éviter l'ignition de nuages explosifs .....	127
8.3	Identification des risques d'atmosphères explosives .....	131

8.4	Evaluation des risques et spécification des mesures .....	140
<b>9</b>	<b>PROTECTION CONTRE L'INCENDIE.....</b>	<b>142</b>
9.1	Risques de dommages dus aux incendies.....	143
9.2	Mesures pour limiter les dommages dus aux incendies .....	147
9.3	Identification des risques des dommages lors de feux.....	151
9.4	Evaluation des risques et spécification des mesures .....	155
<b>10</b>	<b>PROTECTION CONTRE LES EXPLOSIONS.....</b>	<b>161</b>
10.1	Risques d'explosions.....	162
10.2	Mesures de protection contre des explosions .....	165
10.3	Identification des risques de dommages dus à l'explosion .....	167
10.4	Evaluation des risques et spécification de mesures.....	169
<b>11</b>	<b>PROTECTION CONTRE L'EXPOSITION À DES SUBSTANCES LIBÉRÉES .....</b>	<b>170</b>
11.1	Risques de dommages dus à l'exposition à des substances.....	171
11.2	Mesures de protection contre l'exposition.....	173
11.3	Identification des risques d'exposition .....	175
11.4	Evaluation des risques et spécification des mesures .....	177
<b>12</b>	<b>ANALYSE DE QUELQUES MESURES TYPIQUES.....</b>	<b>178</b>
12.1	Soupapes de sécurité.....	179
12.2	Sécurités instrumentales .....	182
12.3	Actions correctives humaines .....	188
12.4	Limitation de fuite via des vannes d'urgence .....	189
12.5	Enveloppes à double paroi.....	194
12.6	Encuvements.....	195
12.7	Systèmes de recueil et d'évacuation .....	197
12.8	Bâtiments de procédé .....	199
12.9	Couches de protection ignifuges .....	200
12.10	Refroidissement externe à l'eau .....	202

# 1 L'accord de coopération

## 1.1 L'accord de coopération

L'objectif de l'accord de coopération est repris à l'article 2.

**Art. 2.** *Le présent accord de coopération a pour objet la prévention des accidents majeurs impliquant des substances dangereuses et la limitation de leurs conséquences pour l'homme et l'environnement, afin d'assurer de façon cohérente et efficace dans tout le pays des niveaux de protection élevés.*

L'accord de coopération ne contient aucune prescription technique concrète pour la sécurité des installations de procédé. A côté de cela, on impose par contre à l'exploitant à l'article 7, l'obligation générale de prendre toutes les mesures nécessaires pour prévenir les accidents majeurs et en limiter les conséquences pour l'homme et l'environnement. De plus, l'exploitant doit à tout moment être capable de démontrer aux services d'inspection compétents qu'il a pris ces mesures.

**Art. 7.** *L'exploitant prend toutes les mesures qui s'imposent pour prévenir les accidents majeurs et pour en limiter les conséquences pour l'homme et l'environnement.*

*L'exploitant doit à tout moment pouvoir prouver aux services d'inspection compétentes, notamment aux fins des inspections et des contrôles visés à l'article 28, qu'il a pris toutes les mesures nécessaires prévues par le présent accord de coopération.*

L'accord de coopération ne décrit pas davantage comment les études de sécurité des procédés doivent être réalisées concrètement. Les entreprises Seveso doivent cependant bien déterminer par écrit comment les activités suivantes sont réalisées:

- l'identification des dangers et l'évaluation des risques d'accidents majeurs
- la conception de nouvelles installations, procédés ou lieux de stockage et la réalisation de modifications d'installations, procédés ou lieux de stockage existants.

Nous retrouvons ces points à l'article 9 pour les entreprises seuil bas et à l'article 10 pour les entreprises seuil haut.

Les obligations de l'accord de coopération ont été rédigées de manière très générale. Cela ne signifie cependant pas que la maîtrise des risques d'accidents majeurs et la réalisation des études de sécurité soient une occupation informelle. Les exploitants doivent remplir ces obligations générales de manière concrète. Les services d'inspection Seveso doivent évaluer cette mise en œuvre concrète et c'est pourquoi ils doivent eux-mêmes développer une vision sur la transposition pratique de ces dispositions générales.

Dans ce chapitre, nous décrivons une série de notions fondamentales déjà citées ci-dessus:

- un accident majeur
- toutes les mesures nécessaires
- un niveau de protection élevé
- l'identification des dangers et l'évaluation des risques d'accidents majeurs.

A côté de l'accord de coopération, il existe encore d'autres réglementations fédérales et régionales concernant la conception d'installations de procédé et la réalisation d'études de risques. Un aperçu complet et une discussion sur toute cette réglementation tombe en-dehors de la portée de ce document. Nous nous limitons à l'accord de coopération

parce qu'il s'agit de la base réglementaire commune pour tous les services d'inspection Seveso.

## 1.2 Un accident majeur

Un accident majeur est défini à l'article 4 comme suit:

*un événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement couvert par le présent accord de coopération, entraînant pour la santé humaine, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, ou pour l'environnement, un danger grave, immédiat ou différé, et faisant intervenir une ou plusieurs substances dangereuses.*

La définition d'un accident majeur ne suppose donc pas qu'il ait effectivement des dommages portés à l'homme ou à l'environnement. Il s'agit d'événements générant un danger grave, qui en d'autres mots, ont la possibilité intrinsèque d'endommager l'homme ou l'environnement. Il est clair que de graves émissions, des incendies et des explosions sont des événements avec un tel potentiel.

Aucun critère n'est donné pour décrire plus en détail la notion de "grave". Comme nous le verrons plus loin, cette vague description ne peut cependant pas représenter une pierre d'achoppement lors de la réalisation des études de sécurité des procédés.

Pour être complet, nous mentionnons que des critères sont données à l'annexe V de l'accord de coopération pour la notification d'un accident majeur par les autorités compétentes à la Commission européenne. Ces critères ne peuvent pas être vus comme une explication plus poussée ou comme une limitation de la définition d'un accident majeur. Pour remplir leurs obligations, les exploitants doivent utiliser la définition plus large de l'article 4. A l'aide de l'annexe V, on veut s'assurer qu'au moins les accidents majeurs qui satisfont aux critères déterminés soient déclarés par les états membres à la commission. Les états membres sont libres de signaler aussi d'autres accidents majeurs ou incidents pertinents.

## 1.3 Toutes les mesures nécessaires

### **Prévenir les accidents majeurs et en limiter les conséquences**

A l'article 7, l'accord de coopération demande à l'exploitant de prendre *toutes* les mesures *nécessaires* pour prévenir les accidents majeurs et en limiter les conséquences pour l'homme et l'environnement.

Lors de la prise de mesures, il y a donc un double objectif à atteindre: aussi bien la prévention des accidents majeurs que la limitation des conséquences. La directive indique donc ici que l'obligation de prendre des mesures pour prévenir les accidents majeurs n'ôte rien à l'obligation de prendre des mesures pour limiter les conséquences. Les deux sortes de mesures sont nécessaires et la présence d'une sorte de mesures n'enlève pas la nécessité d'en prendre de l'autre sorte. La maîtrise des risques d'accidents majeurs est donc basée sur une double stratégie: prévenir qu'ils ne surviennent et s'ils arrivent quand même, malgré les efforts pour les prévenir, en limiter les conséquences.

Si nous combinons cette obligation avec la définition d'un accident majeur, l'article 7 signifie alors que l'exploitant doit prendre toutes les mesures nécessaires pour:

- prévenir des émissions majeures
- prévenir des incendies et des explosions
- limiter les conséquences d'émissions majeures pour l'homme et l'environnement
- limiter les conséquences d'incendies pour l'homme et l'environnement
- limiter les conséquences d'explosions pour l'homme et l'environnement.

Ci-dessous nous donnons quelques explications pour chacun de ces 5 objectifs. Chacun de ces objectifs sera traité en détails dans les chapitres suivants, le tout suivant une structure quelque peu différente.

### ***Prévenir des émissions majeures***

La prévention d'émissions majeures signifie en premier lieu la prévention de libérations indésirées hors de l'installation.

On peut se poser la question de savoir si l'on doit prévenir toutes les libérations indésirées ou uniquement les "émissions majeures". Selon la définition d'un accident majeur, une émission est "majeure", si elle peut être considérée comme un événement engendrant un danger grave pour l'homme ou l'environnement. De plus, il faut que des substances dangereuses soient impliquées, telles que définies dans l'accord de coopération. Pour la réalisation des études de sécurité des procédés, cette question n'est cependant pas très pratique. En pratique, dans une étude de sécurité des procédés, on devra identifier toutes les causes de libérations ainsi que leurs conséquences. Il n'est en effet pas possible d'exclure a priori des libérations sans les avoir évaluées. L'évaluation proprement dite de la possibilité pour une libération de constituer ou non un danger "grave" n'est de plus pas simple. Pas seulement parce que "grave" n'est pas décrit, mais aussi parce que les conséquences directes d'une libération dépendent fortement d'une série de facteurs dus au hasard. A côté des dangers directs d'une libération, il faut également tenir compte des effets domino potentiels. Par exemple, une fuite limitée d'un liquide inflammable peut donner lieu à un incendie qui, lorsque l'on n'agit pas à temps, peut se propager à d'autres équipements. La pratique a également déjà démontré que la libération de quantités relativement petites pouvaient déjà donner lieu à de graves conséquences, certainement en ce qui concerne des accidents environnementaux. La question de savoir si une libération indésirée potentielle identifiée lors d'une étude de sécurité des procédés doit être considérée ou non comme un accident majeur a peu de valeur ajoutée. Il est important que l'on évalue toutes les causes de libérations et que pour chaque libération, l'on prenne les mesures nécessaires pour les prévenir et ce en correspondance avec la gravité potentielle des conséquences.

La prévention d'émissions majeures ne signifie pas seulement que l'on prévient des libérations indésirées mais aussi que l'on prend des mesures pour prévenir que des libérations limitées n'aboutissent à des émissions majeures (ou que des émissions majeures ne deviennent encore plus graves). Il faut donc également envisager des mesures pour limiter des fuites, une fois qu'elles se sont produites.

### ***Prévenir des incendies et des explosions***

La prévention des incendies et des explosions commence par la prévention de la libération de substances combustibles. Nous avons déjà expliqué ci-dessus l'obligation de prévenir des libérations indésirées. L'obligation de prévenir les incendies et les explosions en est donc une confirmation. La prévention des incendies et des explosions signifie plus exactement que l'on prend des mesures pour prévenir la formation d'un nuage explosif et pour prévenir les sources d'ignition.

Les explosions ne peuvent pas seulement être la conséquence de l'ignition d'un mélange inflammable d'oxygène et de substances combustibles, mais aussi la conséquence de la



rupture explosive d'un équipement (c'est ce que l'on appelle des "explosion physiques"). Un troisième type d'explosions que l'on doit prévenir sont les explosions de substances explosives.

### ***Limiter les conséquences d'émissions majeures pour l'homme et l'environnement***

La protection de l'homme contre l'exposition aux substances libérées (et donc la limitation des conséquences) peut se faire de différentes manières:

- éviter préventivement la présence de personnes dans des zones avec un risque élevé d'exposition
- évacuer à temps les personnes hors des zones menacées par des substances libérées
- prévenir que des substances se propagent vers des personnes
- l'usage d'équipements de protection collective et individuelle (tels que des bâtiments étanches aux gaz)
- premiers secours.

Notons que ces stratégies sont complémentaires. Une sorte de mesures ne rend pas l'autre inutile.

La protection de l'environnement contre les conséquences d'émissions majeures devra principalement être réalisée en prévenant que les substances libérées ne viennent en contact avec des parties sensibles de l'environnement. Les mesures pour contrecarrer la propagation de substances menaçant l'environnement, sont donc très importantes en la matière.

### ***Limiter les conséquences d'incendies pour l'homme et l'environnement***

La limitation des conséquences d'incendies pour les personnes peut se faire de différentes manières:

- éviter préventivement la présence de personnes dans des zones avec un risque élevé d'incendie
- détection à temps de l'incendie et évacuation
- ralentir la propagation d'un incendie vers des zones où se trouvent des personnes (par exemple en appliquant le compartimentage incendie, l'extinction de l'incendie)
- équipements de protection individuelle (vêtements retardateurs de feu)
- premier secours.

Les principaux risques d'un incendie pour l'environnement sont liés à la formation de produits de combustion dangereux pour l'environnement, à la propagation de l'eau d'extinction contaminée dans l'environnement, et à l'extension de l'incendie vers le voisinage et aux dommages à l'environnement qui en découlent. L'impact des produits de combustion devra surtout être abordé à la source: plus vite l'incendie est sous contrôle, moins il y aura de produits de combustion formés. Pour l'eau d'extinction, un recueil suffisant est nécessaire et des mesures pour éviter que l'eau d'extinction polluée n'aboutisse dans un compartiment sensible de l'environnement.

### ***Limiter les conséquences d'explosions pour l'homme et l'environnement***

Les stratégies suivantes peuvent être utilisées pour limiter les conséquences d'explosion:

- le respect de règles d'éloignement
- éviter préventivement la présence de personnes dans des zones avec un risque élevé d'explosion
- le cloisonnement d'une source de danger d'explosion (à l'aide de murs résistant aux explosions)
- la protection de bâtiments contre les effets d'une explosion.

Ces stratégies sont en pratique surtout utilisées pour la protection de l'homme, mais peuvent en principe aussi être appliquées pour la protection du voisinage (l'infrastructure et les parties de l'environnement qui pourraient subir directement les dommages d'une explosion).

## 1.4 Un niveau de protection élevé

Les mesures nécessaires pour prévenir les accidents majeurs et limiter leurs conséquences, doivent mener à un niveau de protection élevé. La garantie de niveaux de protection élevés n'est pas seulement reprise dans l'objectif de l'accord de coopération, mais aussi dans les articles 9 et 10 qui obligent l'exploitant (respectivement d'un établissement seuil bas et d'un établissement seuil haut) de mener une politique de prévention des accidents majeurs assurant un niveau de protection élevé.

**Art. 9. § 1.** *L'exploitant d'un établissement visé à l'article 3, § 1, alinéa 3, rédige un document définissant sa politique de prévention des accidents majeurs et il veille à l'application correcte de cette politique. La politique de prévention des accidents majeurs mise en place par l'exploitant doit garantir un niveau élevé de protection de l'homme et de l'environnement par des mesures, des moyens, des structures et des systèmes de gestion appropriés.*

**Art. 10. § 1.** *Les exploitants des établissements visés à l'article 3, § 1er, deuxième alinéa :*

- 1° mènent une politique de prévention des accidents majeurs, garantissant un niveau élevé de protection de l'homme et de l'environnement;*
- 2° mettent en œuvre un système efficace de gestion de la sécurité, garantissant l'application de cette politique.*

L'accord de coopération ne donne pas de description plus précise de ce que l'on doit précisément comprendre sous ce niveau de protection élevé.

Selon les services d'inspection Seveso, un niveau de protection élevé est au moins égal au niveau de protection atteint en appliquant les codes de bonne pratique pertinentes rédigés par l'industrie elle-même (éventuellement en coopération avec les autorités) et qui sont généralement basés sur des leçons tirées d'accidents et d'incidents.

## 1.5 Le devoir de preuve

L'article 7 de l'accord de coopération ne formule pas seulement l'obligation de prendre toutes les mesures nécessaires, mais stipule de plus aussi que l'exploitant doit à tout moment être capable de *démontrer* aux services d'inspection compétents qu'il a pris toutes les mesures nécessaires dans l'accord de coopération.

Le fait que ce devoir de preuve est repris avec l'obligation de prendre toutes les mesures nécessaires, souligne son caractère fondamental.

Démontrer que l'on a pris toutes les mesures nécessaires, impose en effet indirectement une condition supplémentaire importante: à savoir que les mesures nécessaires doivent être le résultat d'une enquête systématique, qui doit être bien documentée et bien argumentée.

Le devoir de preuve implique en premier lieu qu'il doit être clair quelles mesures ont été prises pour prévenir les accidents majeurs et en limiter les conséquences. Ensuite, on

doit pouvoir démontrer que l'on a analysé la nécessité pour la prise de mesures d'une manière systématique. On doit pouvoir argumenter pourquoi les mesures prises sont suffisantes pour maîtriser les risques d'accidents majeurs (et donc pourquoi on n'a pas pris plus de mesures ou des mesures meilleures). Finalement, il est nécessaire que l'on démontre que les mesures prises sont efficaces et fiables et que les éventuels risques que les mesures amèneraient elles-mêmes, sont suffisamment maîtrisés. Des mesures sont efficaces si elles réalisent l'effet escompté. La fiabilité de mesures est liée à la probabilité qu'une mesure fonctionne correctement au moment où elle doit fonctionner. Nous reviendrons en détails sur l'efficacité et la fiabilité des mesures plus loin dans cette note.

## **1.6 Identification des dangers et évaluation des risques d'accidents majeurs**

Il a déjà été mentionné ci-dessus que les entreprises Seveso doivent mener une politique de prévention des accidents majeurs. Cette politique de prévention doit être mise en pratique en réalisant une série d'activités qui sont essentielles pour la maîtrise des risques liés aux accidents majeurs et qui sont listées dans l'accord de coopération. La description de ces activités dans l'accord de coopération pour les entreprises seuil bas diffère légèrement de celle pour les entreprises seuil haut, mais dans le fond, cela concerne les mêmes activités.

Deux de ces activités sont:

- L'identification des dangers et l'évaluation des risques d'accidents majeurs
- La conception de nouvelles installations, procédés ou lieux de stockage et la réalisation de modifications à des installations, procédés ou lieux de stockage existants.

Aussi bien les entreprises seuil haut que les entreprises seuil bas doivent fixer par écrit de quelle manière ces activités sont réalisées. Les entreprises seuil bas peuvent se limiter à un seul document dans lequel il est décrit comment la politique de prévention des accidents majeurs est mise en pratique. Les entreprises seuil haut doivent mettre en œuvre un système de gestion de la sécurité qui garantit la réalisation de la politique de prévention des accidents majeurs. Les entreprises seuil bas peuvent bien entendu aussi opter pour l'introduction d'un système de gestion de la sécurité.

Nous rappelons ci-dessous les textes des articles concernés de l'accord de coopération.

**Art. 9. § 1.** *L'exploitant d'un établissement visé à l'article 3, § 1, alinéa 3, rédige un document définissant sa politique de prévention des accidents majeurs et il veille à l'application correcte de cette politique. La politique de prévention des accidents majeurs mise en place par l'exploitant doit garantir un niveau élevé de protection de l'homme et de l'environnement par des mesures, des moyens, des structures et des systèmes de gestion appropriés.*

**§ 2.** *Le document visé au § 1 comprend une description de la politique de prévention et des modalités pratiques de mise en œuvre de cette politique. Cette description est établie en fonction des risques d'accidents majeurs engendrés par l'établissement et a, notamment, trait :*

...

*2° aux modalités d'organisation des activités suivantes au sein de l'entreprise :*

...

*c) l'identification des dangers et l'évaluation des risques d'accidents majeurs;*

...  
e) *la conception de nouvelles installations, procédés ou aires de stockage et la réalisation de modifications apportées aux installations, procédés ou aires de stockage existants;*

**Art. 10. § 1.** *Les exploitants des établissements visés à l'article 3, § 1er, deuxième alinéa :*

- 1° mènent une politique de prévention des accidents majeurs, garantissant un niveau élevé de protection de l'homme et de l'environnement;*
- 2° mettent en œuvre un système efficace de gestion de la sécurité, garantissant l'application de cette politique.*

...  
**§ 2.** *Les éléments suivants sont abordés dans le système de gestion de la sécurité:*

...  
*2° l'identification et l'évaluation des risques d'accidents majeurs: la gestion des procédures pour l'identification systématique des dangers d'accidents majeurs pouvant se produire en cas de fonctionnement normal ou anormal, ainsi que pour l'évaluation des risques qui y sont liés;*

...  
*4° la maîtrise de la conception : la gestion des procédures pour la conception de nouvelles installations, procédés ou aires de stockage et pour la planification et la réalisation des modifications apportées aux installations, procédés ou aires de stockage existants;*

...

Le terme "dangers liés aux accidents majeurs" n'est pas défini dans l'accord de coopération. Il est cependant évident que l'identification et l'évaluation des dangers liés aux accidents majeurs doit mener à la spécification de toutes les mesures dont on parle à l'article 7. Les dangers liés aux accidents majeurs sont donc toutes les situations et événements qui peuvent être la cause ou la conséquence d'évènements tels que:

- des émissions majeures
- des incendies
- des explosions.

L'obligation de décrire la méthode de travail pour l'identification et l'évaluation des dangers liés aux accidents majeurs est donc, à côté du devoir de preuve, une deuxième indication du fait que l'activité doit se faire d'une manière structurée. A l'article 10, on parle expressément d'une identification systématique des dangers liés aux accidents majeurs.

Les activités désignées dans l'accord de coopération comme étant l'identification et l'évaluation des dangers liés aux accidents majeurs et la prise de toutes les mesures nécessaires (sur base de cette identification et évaluation) correspondent à la réalisation d'études de sécurité des procédés, comme décrites dans cette note d'information.

La conception et les modifications des installations de procédé sont des activités qui doivent finalement mener à la réalisation d'installations où toutes les mesures nécessaires sont prises pour prévenir les accidents majeurs et en limiter les conséquences. La réalisation d'études de sécurité des procédés doit faire partie de cette activité.

# 2

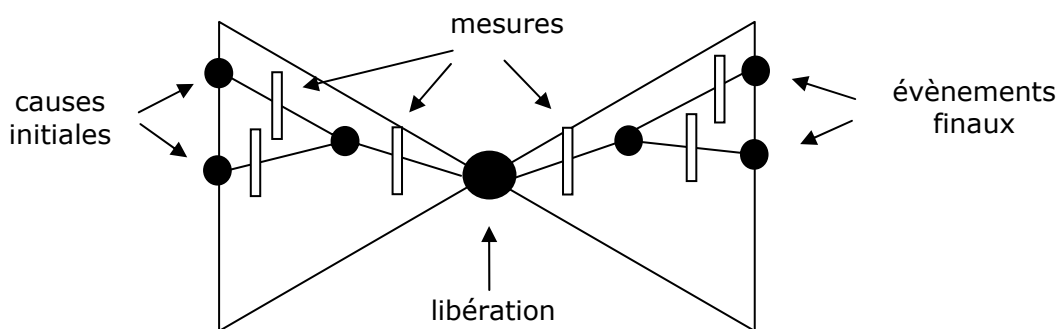
## Les parties d'une étude de sécurité des procédés

## 2.1 Les risques de libérations indésirées

### 2.1.1 Le modèle du nœud papillon

Les risques identifiés dans une étude de sécurité des procédés sont liés aux libérations non souhaitées de substances et d'énergie hors des équipements de procédé. Nous appellerons aussi ces risques « risques de procédé » en abrégé dans la suite du document

Les évènements qui conduisent à une libération indésirée et les évènements qui en sont une conséquence peuvent être représentés à l'aide du modèle du nœud papillon.



Au centre se trouve une libération indésirée hors d'un équipement déterminé. Pour chaque équipement, différentes libérations peuvent être définies et donc, en principe, différents nœuds papillon peuvent être représentés. On peut faire la différence en fonction de l'endroit sur l'équipement où se produit la libération et la manière suivant laquelle la substance (ou l'énergie) est libérée: subitement (voire de manière explosive) ou plutôt progressivement. De tels facteurs ont une influence sur les évènements qui suivent. Un nœud papillon est spécifique à une libération déterminée hors d'un équipement déterminé.

A gauche du nœud central se trouve la structure en arbre reprenant toutes les causes possibles menant à la libération. Dans cette structure en arbre, des chemins sont représentés, partant d'une cause initiale et terminant à la libération. A droite du nœud central on retrouve un arbre des évènements qui commence à la libération indésirée et se termine aux évènements finaux. Les évènements finaux sont les dégâts possibles. Ceux-ci peuvent aussi bien concerner l'homme (dans l'entreprise ou dans le voisinage), l'environnement, que les infrastructures (l'installation elle-même, les bâtiments, les utilités, ...) Entre la libération et l'occurrence des dégâts se trouvent encore différents évènements comme la formation de flaques de liquides ou de nuages de gaz, l'ignition d'atmosphères explosives, les incendies et explosions.

Des mesures interrompent la chaîne des évènements. Elles réagissent sur un certain évènement et empêchent un évènement qui en serait la conséquence sans l'intervention de la mesure. Les mesures à gauche du nœud central préviennent les libérations, les mesures à droite en limitent les conséquences.

Il est important de souligner que le modèle du nœud papillon ne présente pas toutes les causes des évènements finaux, mais seulement les causes liées à la libération reprise au nœud central. Il va de soi que les évènements à droite du nœud papillon, comme un incendie ou une explosion dans une certaine zone, l'occurrence de dégâts à

l'environnement ou aux personnes peuvent aussi être le résultat d'autres libérations que celles représentées au centre (éventuellement d'autres types de libérations issues du même équipement, mais aussi des libérations issues d'autres équipements). Si l'on évalue de la nécessité de prendre des mesures de limitation des dommages sur base d'un seul nœud papillon, on court donc le risque de sous-estimer fortement le risque (des dommages).

Le modèle du nœud papillon représente le risque "global" d'une libération. Cela illustre bien la complexité des scénarios d'une libération indésirée. Pour chaque libération, il y a un grand nombre de causes et chaque libération peut conduire à un grand nombre de cas de dommages possibles. Tout comme le nœud papillon est construit sur base d'un grand nombre d'évènements (aussi bien des causes que des conséquences), le risque global d'une libération indésirée est constitué de toutes sortes de risques partiels. Chaque évènement du nœud papillon est un risque en soi, par exemple le risque de perte de refroidissement d'un réacteur et la surpression qui en résulte, le risque de corrosion, le risque d'incendie, le risque d'explosion, le risque de dommages à l'environnement, le risque de victimes. Comme mentionné ci-dessus, le nœud papillon donne le lien entre ces risques partiels mais ne représente pas le risque complet des évènements qui se trouvent à droite du nœud central. Le nœud papillon illustre également très bien que les différentes mesures de gestion visent des risques partiels spécifiques qui correspondent avec cette partie de la chaîne des évènements où chaque mesure intervient.

Nous développerons plus en profondeur ci-dessous les causes et conséquences possibles des libérations, et dans la section suivante, nous aborderons les mesures pouvant être prises pour maîtriser les risques de libérations indésirées.

## 2.1.2 Les causes des libérations indésirées

Les causes possibles d'une libération indésirée sont très diverses. Nous faisons ici une distinction entre quatre groupes de causes.

### A. Déviations de procédé

Pendant le fonctionnement normal de l'installation, les équipements doivent pouvoir résister à toutes les charges internes et externes qui s'y exercent, telles que les pressions et températures opérationnelles minimales et maximales, le poids des substances présentes normalement, les forces hydrodynamiques, les tensions thermiques, les charges du vent et de la glace.

Suite à une déviation du procédé (toutes les déviations de la conduite normale et souhaitée du procédé), les charges sur les équipements peuvent dépasser les maximums en cas de fonctionnement normal. Contrairement au fonctionnement normal, il n'est pas évident que les équipements puissent résister aux charges lors du fonctionnement anormal. Les déviations de procédé peuvent donc conduire à des dommages aux équipements et à des libérations indésirées.

Des déviations de procédé peuvent aussi conduire à une libération via des ouvertures vers l'environnement. L'épanchement d'un liquide via les événements lors du suremplissage d'un réservoir se stockage atmosphérique et une percée de gaz dangereux via la sortie d'un scrubber défectueux en sont des exemples.

Finalement, une libération peut aussi avoir lieu lors de l'ouverture d'une installation, comme lors du désaccouplement des flexibles après un déchargement ou lors de l'ouverture d'un couvercle pour l'ajout manuel de produits dans un réservoir. Lors d'un fonctionnement normal, il va de soi qu'aucune libération dangereuse ne peut

normalement se produire lors de telles manipulations. Nous considérons également l'ouverture d'une installation qui n'est pas suffisamment exempte de produit ou de pression comme une déviation de procédé.

## B. Dégradation des enveloppes

Avec le terme "enveloppe", nous faisons référence aux parois des appareils de procédé et aux tuyauteries qui séparent les substances de l'environnement.

Comme expliqué ci-dessus, une enveloppe doit pouvoir offrir une résistance aux influences qui s'exercent sur elle lors du fonctionnement normal de l'installation. La robustesse et la résistance de l'enveloppe sont en premier lieu assurées par une conception et une construction experte suivant les règles de l'art. La résistance initiale de l'enveloppe peut toutefois régresser au cours du temps sous l'influence de toutes sortes de phénomènes de dégradation. De ce fait, une libération peut quand même survenir, même si le procédé se trouve dans sa fenêtre opérationnelle normale.

Des phénomènes de dégradation courants sont:

- corrosion
- attaque à l'hydrogène
- érosion
- fatigue
- tassement<sup>2</sup>

## C. Impact externe

Un troisième groupe de causes est lié à l'impact externe sur les équipements et les structures portantes auxquelles ils sont fixés. Les menaces externes les plus importantes pour les équipements sont les incendies et les explosions. Ces événements sont en soi le résultat de libérations indésirées et donc d'autant plus difficiles à prévenir et à évaluer.

Lorsque l'on identifie un feu ou une explosion comme cause d'une libération hors d'un équipement, on pourrait en principe développer plus loin ces causes. Un incendie ou une explosion est en effet le résultat de la libération hors d'autres équipements pour lesquels, en soi, un grand nombre de causes peuvent être identifiées. Expliciter d'une telle manière la recherche des dommages dus à un incendie ou à une explosion est un exercice particulièrement complexe, qui n'a en soi que peu de valeur ajoutée. Comme nous l'expliquerons plus en détails ci-dessous, on partira en pratique plutôt de la possibilité de dommages dus à un incendie (ou une explosion) sur base des dangers présents. Si l'on veut réaliser une analyse quantitative des effets, on partira la plupart du temps d'une ou de plusieurs libérations ou incendies représentatifs.

## D. Travaux dangereux

Pour finir, les libérations peuvent être la conséquence de travaux dans les installations. Des causes possibles sont par exemple:

- l'ouverture d'équipements dans lesquelles se trouvent encore des substances dangereuses présentes
- l'impact d'excavatrices sur des conduites enterrées
- affaissements d'équipements suite à des travaux d'excavation
- l'impact de véhicules ou de leur chargement sur l'installation
- l'impact de charges incontrôlées ou détachées lors de travaux de levage.

Bien que lors de la conception d'installation de procédé, il peut être tenu compte de la facilité d'entretien, cette sorte de causes de libération ne peut jamais totalement être

---

<sup>2</sup> Un tassement est en fait une dégradation des fondations.



prévue par la conception de l'installation. Pour cela, des mesures doivent être prises lors de l'exécution des travaux elle-même. Ces mesures doivent être spécifiquement déterminées pour chaque travail en particulier. Pour cela, l'entreprise a besoin d'un système de gestion pour identifier les travaux pouvant former une menace pour l'installation, pour la recherche des risques et la spécification et l'implémentation des mesures. De tels systèmes de gestion sortent de la portée de cette publication.

Il est par contre important de souligner que les mesures prises dans l'installation pour limiter les conséquences d'une libération peuvent aussi prouver leur utilité pour les libérations lors de travaux dans l'installation. La pratique a d'ailleurs démontré que les causes de beaucoup d'accidents de procédé sont liées à l'exécution de travaux dangereux.

### 2.1.3 Sortes de libérations

Les libérations peuvent être instantanées ou continues. Lors d'une libération instantanée, le contenu de l'équipement concerné est soudainement libéré (ou endéans un faible laps de temps). Lors de libérations continues, l'ouverture de fuite sera plutôt limitée et le contenu sera libéré durant un temps relativement long (à moins que des mesures soient prises pour limiter la fuite).

Une libération indésirée peut aussi se produire de manière explosive. Pensons par exemple à un équipement qui se rompt à cause d'une explosion interne ou à cause d'une décomposition d'une substance instable. Les équipements travaillant sous très haute pression peuvent donner lieu à une explosion lors de ruptures catastrophiques. Les substances solides explosives sont bien sûr également une source de danger d'explosion. L'énergie libérée lors de la défaillance explosive d'un équipement ou lors d'une explosion de substances solides se propage comme une onde de pression et s'accompagne de la formation de projectiles.

### 2.1.4 Les conséquences de libérations indésirées

#### A. Dispersion de substances

Une fois libérées, les substances vont se disperser dans le voisinage. Cette dispersion peut se faire par différentes voix: via l'air, sur le sol, via l'eau, dans le sol. La manière suivant laquelle les substances se dispersent dépend d'un grand nombre de facteurs comme:

- les propriétés intrinsèques des substances libérées
- les quantités libérées en fonction du temps
- les conditions météorologiques (température, vent, ...)
- l'environnement dans lequel les substances sont libérées (conditions de ventilation, sous-sol, ...).

La dispersion d'une substance dans l'environnement peut aussi bien avoir un effet favorable que défavorable sur le risque, et ceci en fonction de la nature de la substance et des circonstances. La dispersion d'un nuage gazeux toxique peut conduire à une dilution (et donc à une situation moins dangereuse) mais la dispersion peut aussi se produire en direction d'un bâtiment ou d'une zone habitée ce qui augmente le risque. La dispersion d'un produit inflammable loin d'un équipement vulnérable ou d'une source d'ignition a un effet favorable sur le risque. La dispersion de liquides inflammables peut toutefois aussi avoir des effets défavorables, comme la plus grande évaporation qui va de paire avec la plus grande surface de liquide et la propagation de l'incendie. Si des

substances écotoxiques se dispersent dans un milieu environnemental vulnérable, des dommages se produisent immédiatement. La lutte contre la dispersion est donc aussi importante afin de prévenir les dommages à l'environnement.

## **B. Ignition d'un nuage explosif**

Un nuage de gaz, de vapeurs ou de particules de poussières dont la concentration se trouve au sein du domaine explosif, peut être enflammé par une source d'ignition générant l'énergie d'ignition minimale nécessaire.

Les sources d'ignition peuvent être très diverses: des étincelles au sein d'appareils électriques, des charges électrostatiques, des surfaces chaudes, des flammes nues, etc. Les sources d'ignition peuvent trouver leur origine, non seulement dans les appareils de l'installation elle-même, mais peuvent aussi être introduites lors de l'exécution de travaux, par des véhicules ou des équipements temporaires ou par l'homme (via le chargement électrostatique des vêtements par exemple).

Dans certains cas, la libération de la substance elle-même occasionne un chargement électrostatique, qui, par déchargement peut générer l'étincelle pour l'ignition du nuage explosif formé lors de la libération. Une substance se trouvant au-dessus de la température d'auto-inflammation n'a naturellement pas besoin de source d'ignition pour s'enflammer.

Plus grand est le nuage explosif, plus grande sera la probabilité que celui-ci trouve une source d'ignition. Bien que l'on doive fournir les efforts nécessaires pour éviter autant que possible les sources d'ignition, en ce qui concerne la prévention des incendies et des explosions comme conséquence de libérations indésirées, on ne peut jamais compter sur le fait que l'on ait exclu toutes les sources d'ignition. La chance que des gros nuages s'enflamment est toujours réelle.

## **C. Explosion de nuage gazeux**

Lors de l'ignition d'un nuage explosif, un feu de nuage (sans surpressions notables) ou une explosion de nuage gazeux peut se produire. L'un ou l'autre phénomène se produira selon le degré de confinement et la présence de turbulences dans le nuage gazeux. En plus de la formation de turbulences, la présence d'une masse suffisante de substance inflammable au sein de ses limites d'explosion est aussi importante. Pour arriver à une explosion de nuage gazeux, l'ignition doit donc être retardée jusqu'à ce qu'un nuage d'assez grandes dimensions soit formé.

## **D. Incendie**

Différents types d'incendie sont possibles:

- les feux de flaque
- les feux de torche
- les feux de nuage
- les boules de feu (à la suite d'un BLEVE)
- les feux de substances solides

Un incendie peut directement conduire à des victimes, mais peut aussi occasionner des dommages à l'installation qui peuvent mener à une escalade de la situation d'urgence. Les équipements peuvent flancher à la suite de l'affaiblissement du métal de l'enveloppe soumis à haute température et/ou de l'augmentation de la pression due au réchauffement. Les structures portantes en acier sur lesquelles les équipements sont fixés sont très vulnérables à la chaleur et lorsqu'elles ne sont pas protégées, elles peuvent relativement se laisser aller lors de l'exposition à un incendie. Les chemins de

câbles sont un autre type de porteur de dommages en cas de feu. Les câbles sont utilisés dans les installations pour la distribution de l'énergie électrique et pour les systèmes de contrôle et de sécurité. Souvent ce câblage, partant d'un point central, mène, via des chemins de câbles, vers d'autres points de distribution dans l'installation. Si ce câblage fait défaut, on perd l'énergie électrique et le contrôle sur certaines parties de l'installation, ce qui peut en soi, conduire à des libérations.

Des dommages à l'environnement sont également possibles, surtout par la formation des gaz de fumées et des eaux d'extinctions polluées.

## **E. Dommages à l'homme**

Les dommages à l'homme peuvent être occasionnés par différents événements pouvant se produire lors d'un accident de procédé:

- contact avec les substances libérées
- exposition à un incendie
- impact d'ondes de pression et de projectiles.

Le fait d'avoir ou non des victimes humaines ainsi que la portée précise des dommages ne dépend pas seulement des événements dangereux après la libération mais aussi des facteurs suivants relatifs aux porteurs de dommages eux-mêmes:

- le nombre de personnes présentes sur le lieu du danger
- le temps d'exposition (qui est fonction de la vitesse de l'évacuation ou du sauvetage)
- le niveau de protection individuelle
- la réponse du corps (qui varie de personne en personne).

## **F. Dommages à l'environnement**

Les dommages à l'environnement sont causés lorsqu'une substance éco-toxique rentre en contact avec un milieu environnemental vulnérable. Au contraire des porteurs de dommages humains, l'environnement est présent en permanence.

Des mesures de protection pour les personnes, comme une évacuation à temps et les équipements de protection individuelle, n'ont pas d'équivalents pour l'environnement. Prévenir les dommages à l'environnement dépendra surtout de la prévention des libérations de substances éco-toxiques et, si elles sont quand même libérées, à éviter qu'elles se dispersent dans l'environnement. Le recueil des eaux d'extinction est aussi important pour prévenir la pollution de l'environnement.

## **G. Dommages aux infrastructures**

Les incendies et explosions peuvent causer des dommages aux équipements, à leurs supports et aux structures portantes auxquelles ils sont fixés.

Les incendies et explosions peuvent donc directement conduire à d'autres libérations indésirées.

Les incendies et explosions peuvent aussi occasionner des dommages aux systèmes nécessaires pour protéger l'installation et combattre les situations d'urgence, comme par exemple:

- les câbles utilisés dans les systèmes de contrôle et de sécurité
- les câbles électriques
- les transformateurs
- les générateurs électriques
- les unités d'air comprimé
- les tours de refroidissement
- les conduites d'eau de refroidissement

- les équipements de lutte incendie (les conduites d'eau, les pompes pour l'eau d'extinction).

Les dommages à ces systèmes peuvent donc aussi conduire indirectement à une libération ou peuvent entraver le combat des situations d'urgence.

## 2.2 Mesures pour la maîtrise des risques de procédé

De ce qui précède, on peut tirer la conclusion que les causes et les conséquences des libérations indésirées sont très diverses. Cette diversité se reflète dans les mesures que l'on peut prendre pour prévenir les libérations et en limiter leurs conséquences.

En général, les mesures que l'on peut prévoir lors de la conception des installations de procédé et des infrastructures qui les encadrent remplissent une (ou plusieurs) des fonctions suivantes :

1. la maîtrise des déviations de procédé;
2. la maîtrise de la dégradation des enveloppes;
3. la limitation des libérations continues;
4. la maîtrise de la dispersion des substances et de l'énergie;
5. éviter les sources d'ignition;
6. la protection contre l'incendie;
7. la protection contre les explosions;
8. la protection contre l'exposition aux substances libérées.

Ces fonctions correspondent aux différentes manières dont on peut agir sur la chaîne des événements dans un scénario de libération.

Nous appellerons ces huit fonctions formulées de manière très générale, "les fonctions de sécurité" d'une installation de procédé. Nous les commenterons brièvement ci-dessous. Un descriptif plus détaillé suivra dans les chapitres suivants.

Il est à noter que la prévention des libérations en tant que conséquences d'un impact externe est une partie des fonctions de sécurité "protection contre l'incendie" et "protection contre les explosions".

Nous voulons rappeler encore une fois ici que cette note se limite aux études de sécurité des installations de procédé. Nous traitons uniquement les risques et les mesures que l'on peut prévoir lors de la conception des installations et des infrastructures de l'entreprise (tels que l'approvisionnement en utilités et les bâtiments). Des mesures temporaires prises dans le cadre de travaux dangereux ne sont pas traitées ici. Cela ne signifie cependant pas que certaines des fonctions de sécurité ci-dessus ne pourraient pas jouer un rôle lors de la limitation des conséquences de libérations accidentelles pendant l'exécution de travaux dangereux.

### 2.2.1 La maîtrise des déviations

Les déviations de procédé sont typiquement maîtrisées par des mesures comme:

- les spécifications de conception des enveloppes
- les mesures de contrôles
- les alarmes et les interventions par le personnel opérationnel
- les sécurités instrumentales
- les sécurités mécaniques de surpression.

Pour éviter l'endommagement d'une enveloppe suite à une certaine déviation dans la conduite du procédé, on peut choisir de rendre l'enveloppe résistante à l'effet dommageable que cette déviation entraîne.

Si l'enveloppe n'est pas résistante, on devra prendre des mesures afin de prévenir que les conditions de conception ne soient pas dépassées. Ceci consiste en premier à des mesures de contrôle qui maintiennent le procédé endéans les limites de fonctionnement normal du procédé. Si les mesures de contrôle défont, les mesures de sécurité seront sollicitées.

Des conditions de déviations peuvent être détectées et rapportées en alarmes vers le personnel opérationnel qui peut alors prendre une action correctrice. Si l'on choisit de faire exécuter l'action correctrice de manière automatique, on parle alors de sécurité instrumentales.

Les sécurité mécaniques de surpression, comme les soupapes de sécurité, les disques de rupture et les panneaux d'explosion, relâchent la surpression vers un système fermé ou vers l'environnement. Dans ce dernier cas, une libération n'est en fait pas évitée, mais on assure une libération contrôlée. Les risques de ces libérations doivent bien entendu aussi être évalués.

## 2.2.2 La maîtrise de la dégradation des enveloppes

La dégradation peut, en premier lieu, être évitée ou limitée par le choix des matériaux de l'enveloppe. La résistance aux conditions corrosives peut aussi être réalisée à l'aide d'une couche de protection (une couche de peinture ou un coating).

Lorsque la dégradation ne peut pas être évitée par un choix des matériaux de l'enveloppe et la construction de l'équipement, l'état de l'équipement devra être suivi dans le temps et on devra réagir à temps avant qu'une libération ne survienne.

Chaque forme d'attaque demande une inspection adaptée, caractérisée par une méthode d'inspection, un endroit ou une zone à inspecter et une fréquence d'inspection. Il est bien entendu possible, qu'en pratique, lors d'une même inspection, différentes formes de corrosion soient suivies.

Après une inspection, il doit être évalué si l'équipement est encore adapté ou non pour poursuivre son utilisation jusqu'au moment de l'inspection suivante planifiée. Si ce n'est pas le cas, il faut prendre des actions correctrices. Des actions possibles sont:

- la mise hors service définitive de l'équipement et le remplacement par un nouvel exemplaire
- la réparation des dommages
- le passage à un monitoring continu de l'équipement
- l'adaptation des conditions de fonctionnement (par ex une pression plus basse)
- l'augmentation de la fréquence d'inspection.

## 2.2.3 La limitation des libérations continues

Limiter les quantités libérées est une fonction de sécurité qui intervient après qu'une fuite continue soit survenue. Cette fonction de sécurité s'adresse donc spécifiquement aux fuites continues qui durent assez longtemps pour intervenir. Lorsque le contenu d'un équipement se libère soudainement ou pendant un très court laps de temps, on n'a en effet pas le temps et souvent pas la possibilité d'intervenir.

On peut distinguer deux sortes de fuites:

- des fuites dans des tuyauteries et des équipements qui sont reliés avec l'équipement, et via lesquelles le contenu de l'équipement peut se libérer;

- des fuites à l'équipement lui-même.

Des fuites aux tuyauteries connectées peuvent être limitées en isolant l'équipement à l'aide de vannes d'urgence. Des fuites à l'équipement lui-même peuvent être limitées en diminuant la pression ou en transvasant le contenu vers un autre équipement.

## 2.2.4 La maîtrise de la dispersion des substances et de l'énergie

Des mesures typiques pour contrôler la dispersion des substances sont:

- des enveloppes secondaires (récipients et conduites à double enveloppe)
- les encuvements
- les systèmes de récolte et d'évacuation
- la ventilation forcée
- les bâtiments fermés
- les couches de mousse sur les flaques de liquides
- les rideaux d'eau.

Une enveloppe secondaire est une deuxième enveloppe qui est apportée autour de l'enveloppe dans laquelle les substances dangereuses se trouvent.

Les encuvements et les systèmes de récolte et d'évacuation ont un objectif opposé. L'objectif d'un encuvement est de récolter sur place le liquide libéré et éventuellement l'eau d'extinction et d'en limiter la dispersion vers l'environnement immédiat de l'équipement protégé en attendant son élimination. La fonction d'un système de récolte et d'évacuation est la récolte des fuites de liquides et l'évacuation immédiate vers un système de collecte ou de traitement.

Un bâtiment peut empêcher ou retarder la dispersion de liquides ou de gaz et vapeurs vers l'environnement. Pour remplir cette fonction de sécurité, le bâtiment doit toutefois spécialement être conçu pour cela.

Le recouvrement d'une flaque de liquide en arrête ou diminue son évaporation. En pratique, on utilise souvent pour cela de la mousse ou de l'eau.

Les rideaux d'eau peuvent avoir les effets suivants sur les nuages de gaz et de vapeurs:

- dilution du nuage à la suite des grandes quantités d'air qui sont entraînées par les gouttelettes
- absorption des gaz ou des vapeurs par l'eau (seulement dans le cas où il s'agit de gaz ou de vapeurs solubles dans l'eau)
- apport de chaleur dans un nuage froid ce qui peut diminuer la dispersion descendante du nuage
- la formation d'une barrière physique qui empêche le déplacement du nuage gazeux.

La ventilation artificielle utilise des moyens mécaniques pour réaliser un flux d'air et est souvent appliquée au sein d'un espace fermé. On peut également encore distinguer la ventilation générale et la ventilation locale (aspiration).

On peut aussi prendre des mesures pour lutter contre la dispersion de l'énergie en cas d'une libération explosive. Le placement de murs autour d'une source de danger d'explosion est destiné à maintenir les projectiles et à guider l'onde de pression dans une direction sûre. Un exemple typique consiste à emmurer les équipements qui fonctionnent à haute pression ou les réacteurs contenant des produits très instables.

Des murs résistants à l'explosion sont également utilisés pour le stockage de substances solides explosives.

## 2.2.5 Eviter les sources d'ignition

Les mesures les plus courantes que l'on prévoit lors de la conception d'une installation pour éviter les sources d'ignition sont prises en fonction de la classification en zones. Une zone délimite un domaine dans l'espace où une atmosphère explosive peut se produire lors du "fonctionnement normal" de l'installation. On distingue différentes zones en fonction de la probabilité avec laquelle l'atmosphère explosive peut survenir. Les appareils présents dans les zones doivent satisfaire à certaines conditions afin d'éviter l'occurrence de sources d'ignition.

En "fonctionnement normal", l'installation est utilisée dans ses limites opérationnelles pour lesquelles elle a été conçue. Les libérations dont on tient compte sont plutôt des libérations limitées, principalement à la suite d'usure normale attendue ou à la suite d'émissions dues au fonctionnement normal de l'installation. Les libérations indésirées, dont nous parlons dans le cadre de cette publication, ne trouvent généralement pas leur place lors du fonctionnement normal. Elles sont dues à des causes telles que le fait que les paramètres de conception sont dépassés ou le fait que l'installation, par suite de dégradations, ne satisfait plus aux critères de conception initiaux, ou un impact externe. Cette sorte de libérations, lors desquelles le plus souvent des quantités relativement grandes rentrent en jeu, n'est pas considérée lors de la classification en zones. D'une manière logique, on ne peut donc pas non plus compter sur les mesures prises dans ces zones pour prévenir une ignition lors de grosses libérations.

La classification en zones et les mesures pour éviter les sources d'ignition au sein de ces zones sont néanmoins une pratique importante dans la sécurité des procédés. Cela permet de réduire la probabilité d'occurrence de petites explosions et incendies et par là, les possibilités d'escalade vers une plus grosse calamité.

## 2.2.6 La protection contre l'incendie

Les équipements d'installation, les structures portantes, les utilités et les chemins de câbles peuvent être protégés contre l'incendie à l'aide d'une protection incendie passive (couches de protection) ou active (refroidissement à l'eau) Les bâtiments peuvent être compartimentés. On peut protéger les personnes à l'aide de vêtements ignifuges.

Une couche de protection ignifuge fournit seulement une protection pendant un temps limité. Les dommages dus aux incendies sont donc seulement prévenus à condition que le feu soit étouffé à temps.

## 2.2.7 La protection contre les explosions

Les dommages dus à l'exposition directe des personnes aux explosions peuvent être évités en limitant préventivement la présence des personnes dans les zones présentant un haut danger d'explosion, ou en détectant à temps les atmosphères explosives et en évacuant les personnes de la zone menacée avant qu'une explosion ne survienne.

C'est de plus une pratique courante de protéger les bâtiments contre l'impact des explosions. Les dommages aux bâtiments peuvent occasionner des victimes parmi les personnes présentes ou à des dommages aux appareils qui y sont placés.



Pour des nouveaux bâtiments, la résistance aux explosions peut être intégrée lors de la conception. Pour des bâtiments existants, une série d'adaptations peuvent être envisagées pour augmenter la résistance aux explosions.

Une autre manière pour prévenir les dommages aux personnes dans les bâtiments est de réduire le taux d'occupation dans le bâtiment ou dans la partie du bâtiment la plus exposée aux risques d'explosion.

Des explosions peuvent aussi donner lieu à des dommages en dehors des limites du terrain. Les mesures qu'une entreprise peut prendre pour limiter ces dommages concernent cependant surtout la limitation de la propagation de l'onde de pression, par exemple en prévoyant des distances de sécurité ou en plaçant des murs résistant aux explosions qui mènent l'onde de pression dans une direction sûre.

## **2.2.8 La protection contre l'exposition aux substances libérées**

Les hommes peuvent être protégés contre l'exposition aux substances libérées par des mesures telles que:

- les équipements de protection individuelle
- la détection, l'alarme et l'évacuation à temps qui en découle (vers une zone sûre, éventuellement un refuge)
- la détection et un avertissement couplé, de ne pas accéder à une certaine zone
- la limitation de la présence de personnes dans certaines zones présentant un risque accru d'exposition
- rendre les bâtiments hermétiques
- la surveillance de la qualité de l'air dans les systèmes de ventilation.

A côté des hommes, la faune et la flore sont également des porteurs de dommages, mais les dommages à l'environnement devront surtout être évités en luttant contre la dispersion des substances libérées. Les mesures citées ici sont cependant difficilement applicables pour la faune et la flore.

## 2.3 L'identification et l'évaluation des risques de procédé

L'identification des risques de procédé est un processus qui a pour but l'identification de la nécessité de prendre des mesures pour limiter les risques. Nous avons vu ci-dessus que beaucoup d'évènements différents peuvent être à la base d'une libération indésirée et que beaucoup d'évènements divers peuvent en être les conséquences. Chacune des mesures pouvant être prises a une fonction bien spécifique: elles sont sollicitées par un certain évènement et elles empêchent ou influencent les évènements qui en seraient la conséquence en leur absence. Nous avons vu que nous pouvons distinguer huit fonctions de sécurité générales. Celles-ci sont huit stratégies générales pour maîtriser les risques de libérations indésirées. Pour rechercher dans quelle mesure il existe un besoin de remplir ces fonctions de sécurité à l'aide de mesures concrètes, nous devons identifier les évènements sur lesquels chaque fonction réagit. Aux huit fonctions de sécurité, nous pouvons donc associer huit risques partiels. Pour remplir les fonctions de sécurité, nous devons identifier clairement chacun des huit risques partiels.

L'évaluation des risques est le processus dans lesquels nous évaluons les risques et qui aboutit sur une décision concrète en ce qui concerne les mesures à prendre. Lors de l'évaluation des risques, nous recherchons la réponse à l'une des questions suivantes:

- Quelles mesures devons-nous prendre pour maîtriser suffisamment le risque?
- Les mesures prises ou proposées sont elles suffisantes ou devons nous prévoir des mesures complémentaires ou d'autres mesures?
- Avec les mesures prises ou proposées, le risque est il suffisamment petit?

### 2.3.1 Les risques de déviations de procédé

Ci-dessus, nous avons parlé des déviations de procédé comme cause de libérations indésirées. Les techniques utilisées pour la recherche des déviations sont l'HAZOP, PLANOP, What-if, check-lists.

Les études des déviations de procédé sont réalisées au niveau des équipements individuels. La division de l'installation en équipements pour lesquelles les déviations possibles sont recherchées est une étape importante dans la recherche des déviations de procédé. En principe, plus on divise l'installation, plus détaillée et approfondie sera l'étude.

Pour l'évaluation des risques, on utilise le plus souvent des techniques comme LOPA, une matrice de risque ou un graphe de risques. LOPA est la technique d'évaluation la plus adaptée pour les risques de déviations des installations de procédé. Pour toutes ces techniques d'évaluation, il est typique que l'on évalue les conséquences d'un seul évènement (la déviation en question). C'est fondamentalement différent de l'évaluation des risques cumulatifs. Pour un risque cumulatif, on évalue en effet l'occurrence d'un certain évènement final en tenant compte de toutes les causes possibles.

Le calcul quantitatif d'un risque simple peut donc être relativement plus simple par rapport au calcul des risques cumulatifs pour lesquels on reste en effet confronté aux incertitudes propres au déroulement même d'un scénario de libération.

Si l'on veut évaluer les dommages finaux à la suite d'une cause précise, on doit tenir compte des incertitudes propres aux évènements du côté droit du nœud papillon:

comment une substance va-t-elle se disperser, un nuage explosif sera-t'il formé, celui-ci trouvera-t'il une source d'ignition, y aura-t'il des porteurs de dommage dans le voisinage, combien de temps seront ils exposés et quels dégâts subiront-ils finalement? De plus, la question se pose de savoir dans quelle mesure l'on doit tenir compte des mesures limitant les dommages, dont l'efficacité n'est pas assurée pour tous les scénarios possibles. Si l'on tient compte, lors du calcul de la probabilité, autant que possible des facteurs de chance et des mesures de limitation des dommages et si, pour chacun de ces facteurs et mesures, on choisit des valeurs plutôt optimistes, l'on peut relativement facilement arriver, sans prendre beaucoup de mesures, à de très basses probabilités. Ce ne doit toutefois pas en être l'objectif.

En plus de la difficulté de calculer probabilité de dommages, se pose également la difficulté d'évaluer si le résultat est oui ou non acceptable. Certaines autorités belges et étrangères utilisent des valeurs de probabilités acceptables pour des événements finaux comme par exemple la mort d'un ou de plusieurs travailleurs ou d'une ou de plusieurs personnes à l'extérieur des limites de l'entreprise. De telles valeurs sont en fait des probabilités cumulatives. Cela signifie que, pour un certain événement final, toutes les causes possibles doivent être combinées. On ne peut pas appliquer ces valeurs pour un chemin unique du nœud papillon, pour lequel on ne tient uniquement compte que d'une seule et unique cause déterminée.

Au chapitre 4, nous développerons plus en détails l'évaluation quantitative des risques simples à l'aide de LOPA. Pour éviter les difficultés liées à l'estimation des événements après la libération et à la détermination du risque acceptable en ce qui concerne les morts, les dommages importants à l'environnement, nous choisirons la libération indésirée comme étant l'évènement final dans les scénarios à évaluer.

### **2.3.2 Risques de dégradation des enveloppes**

L'identification des risques de dégradation est un processus qui doit être réalisé durant la vie complète d'un équipement: depuis la conception jusqu'au moment où l'équipement est mis hors service définitivement.

L'identification des risques de dégradation pour un certain équipement débute avec la mise en avant des conditions de dégradation auxquelles l'équipement est exposé. Sur base de cette information, un choix peut être fait pour les matériaux de construction en essayant d'éliminer ou de limiter les dégradations.

Fort de la connaissance des conditions de dégradation et des détails de construction de l'équipement, une prévision des phénomènes de dégradation à attendre et de la nature de l'attaque peut être faite. Les techniques d'inspection doivent être choisies pour pouvoir détecter les formes d'attaque attendue.

Ensuite, l'analyse des phénomènes de dégradation doit être confrontée aux observations faites lors des inspections et être adaptée si nécessaire. La réalisation d'inspections fait donc partie intégrante de l'identification des risques de dégradation.

Les risques de dégradation ne sont pas des risques statiques qui peuvent être fixés à un certain moment et rester inchangés pour le reste de la durée de vie de l'installation. Les dommages aux enveloppes et les risques y associés augmentent progressivement pendant la vie de l'installation. Après chaque inspection, il doit être réévalué si l'équipement est encore adapté ou non pour rester en service jusqu'à l'inspection suivante.

Eventuellement, certaines actions doivent être prises pour cela, comme par exemple la réalisation de réparations ou l'adaptation des conditions de fonctionnement. Le choix de

l'intervalle d'inspection, des méthodes d'inspection et des zones de l'enveloppe à inspecter, doivent être évalués de nouveau après chaque inspection, et le cas échéant adapté en fonction des résultats d'inspection.

### 2.3.3 Risques de fuites continues

L'identification de fuites continues potentielles doit indiquer pour quels équipements il est utile de prendre des mesures afin d'éviter que le contenu entier ne se libère à cause d'une fuite dans l'équipement lui-même ou dans une des conduites connectées.

L'identification des risques de fuites continues commence avec l'identification des équipements (ou des parties connectées aux équipements) dans lesquels de grandes quantités de substances dangereuses sont présentes.

Théoriquement, on pourrait analyser les risques de libérations continues à partir des systèmes déjà identifiés en spécifiant toutes les causes de fuites dans les tuyauteries et équipements connectés, ainsi que les causes de fuites possibles dans l'équipement lui-même. A partir de toutes les causes, on pourrait alors en théorie calculer la probabilité d'une fuite continue (dans les différentes connexions de l'équipement et dans l'équipement lui-même). En pratique, il s'agit d'un exercice très difficile, vu la grande diversité dans les causes, la difficulté d'attribuer des probabilités fiables aux diverses causes et la complexité des calculs des risques cumulatifs.

A l'opposé des calculs théoriques des risques, l'expérience a démontré que des fuites ont réellement lieu et que la nécessité de mesures pour limiter les fuites a été prouvée dans de nombreux accidents et incidents. Ces expériences se sont traduites en recommandations au sujet du placement de vannes d'urgence commandées à distance et d'autres mesures de limitation des fuites. Nous donnerons des exemples de telles recommandations dans le chapitre 6.

Une série d'entreprises ont développé des critères internes pour le placement de vannes d'urgence commandées à distance. Bien que ces critères puissent varier fortement d'entreprise à entreprise, en général ce sont la nature, la quantité et les conditions de procédé auxquelles les substances sont présentes qui jouent un rôle déterminant dans la décision de prévoir ou non des vannes d'urgence. Une telle approche fait donc abstraction de la cause précise de fuites dans l'équipement ou les connexions. Que la fuite ait lieu suite à une déviation, une dégradation, un incendie ou une explosion ou lors de l'exécution de travaux, n'est en effet pas pertinent pour le fonctionnement de mesures de limitation des fuites.

Une approche systématique pour l'identification des risques de grosses fuites pourrait donc consister à ce que l'on suppose une fuite représentative pour les équipements sélectionnés avec un potentiel élevé de fuite, au niveau de chaque connexion et de l'équipement lui-même, sans rechercher en détails les causes, les caractéristiques et les probabilités de ces fuites. Comme le dit le mot, ces fuites sont représentatives pour toute une gamme de fuites pouvant survenir suite à diverses causes.

Pour chaque fuite représentative, on peut alors examiner les possibilités pour prendre des mesures de limitation des fuites. Lors de la décision de placer ou non ces mesures, on tient compte des recommandations que l'on peut trouver dans le domaine public et des critères propres à l'entreprise si disponibles.

## 2.3.4 Risques de dispersion des substances et de l'énergie libérée

Les différents manières avec lesquelles des substances (et l'énergie dans le cas de libérations explosives) peuvent se disperser et les situations dangereuses potentielles qui peuvent en découler, doivent être identifiées afin de déterminer la nécessité de prendre des mesures pour maîtriser la dispersion des substances ou de l'énergie.

Les mesures pour la maîtrise de la dispersion de substances ou d'énergie visent généralement les libérations dans une zone déterminée ou pour un groupe déterminé d'équipements.

C'est pourquoi lors de l'analyse, on peut souvent se limiter à une série de libérations représentatives pour un groupe déterminé d'équipements. Pour ces libérations représentatives, on peut examiner de quelle manière les substances pourraient se disperser. Il est important que tous les chemins de dispersion aient été examinés: sur le sol, dans le sol, via l'eau, via l'air.

Afin d'identifier et d'évaluer les risques de dispersion de substances dans l'environnement, il est important de dresser la carte des récepteurs de dommages potentiels en fonction des dangers pour l'environnement des substances présentes. De plus, il est important d'examiner dans quelle mesure les substances peuvent se disperser dans les compartiments sensibles de l'environnement.

Un risque spécifique nécessitant une étude séparée, concerne la dispersion de l'eau d'extinction polluée. Il faudra faire des hypothèses au sujet des quantités d'eau d'extinction polluée qui peuvent être produites dans une zone déterminée et vérifier om cette eau d'extinction peut aboutir. L'eau d'extinction polluée ne peut pas se disperser dans l'environnement.

En ce qui concerne la dispersion de l'énergie, il faut identifier les équipements qui peuvent donner lieu à une rupture catastrophique. Des modèles physiques peuvent être utilisés pour faire une estimation de la surpression en fonction de la distance jusqu'à la source de l'explosion.

Les mesures concernant la dispersion de substances ou d'énergie sont en grande mesure prescrites par la réglementation ou des codes de bonne pratique. L'utilité de ces mesures a été prouvée dans bon nombre d'incidents et la plupart du temps, il n'est pas nécessaire de faire des calculs compliqués de risques cumulatifs (tenant compte de toutes les fuites possibles) pour prendre une décision sur les mesures exigées.

## 2.3.5 Risques d'ignition d'atmosphères explosives

Comme expliqué ci-dessus, lors de la conception de l'installation, on prend principalement des mesures pour éviter l'ignition d'atmosphères explosives qui apparaissent lors du fonctionnement normal. Ces atmosphères explosives sont appelées des zones. Il y a différents types de zones, en fonction du fait qu'il s'agisse d'un mélange explosif de gaz ou de poussières et en fonction de la probabilité que l'atmosphère explosive apparaisse.

Des zones autour d'équipements sont une conséquence de la présence de sources de fuite potentielles dans les équipements contenant des substances qui lors de leur libération, peuvent donner lieu à des atmosphères explosives. Une approche systématique pour l'identification des zones consiste à d'abord identifier tous les

équipements où des substances sont présentes, qui lors de leur libération, peuvent donner lieu à des atmosphères explosives. Ensuite, les sources de fuites en fonctionnement normal seront identifiées pour ces équipements. En fonction de l'activité de la source de fuite et des conditions de ventilation, la zone autour de la source de fuite peut être déterminée. En plus des zones autour des équipements, il faut aussi identifier les zones dans les systèmes de recueil et les zones issues de l'accumulation de poussières.

Certaines exigences sont imposées (par la réglementation) aux appareillages situés dans une zone, pour éviter que cet appareillage ne puisse donner lieu à une ignition. L'évaluation des mesures pour éviter l'ignition dans les zones revient donc à vérifier si l'appareillage présent satisfait aux prescriptions réglementaires. Pour certains appareils, on peut pour cela retomber sur des certificats, pour d'autres, il sera nécessaire de faire une analyse des sources d'ignition possibles que l'appareil peut engendrer.

### **2.3.6 Risques de dommages dus aux incendies**

L'objectif de cette étude est de vérifier quels porteurs de dommages peuvent être touchés par un incendie et quelles en sont les conséquences potentielles. Sur base de cette information, on peut prendre une décision sur les mesures à prendre pour protéger ces porteurs de dommages.

Lors de l'identification des risques précédents, une première étape consistait en une division de l'installation. Pour les risques de dommages dus aux incendies, le point de départ est l'identification des porteurs de dommages à protéger. Les porteurs de dommages qui entrent en ligne de compte pour la protection contre les incendies sont principalement: les personnes, les équipements (y compris leurs appuis), les structures portantes (pour les équipements), les chemins de câbles, les bâtiments et les utilités. Les porteurs de dommage se trouvant dans le voisinage de sources de danger d'incendie, telles que des équipements avec des gaz et des liquides inflammables, doivent être retenus pour la suite de cette analyse.

Réaliser une analyse de toutes les fuites potentielles dans le voisinage d'un porteur de dommages et des incendies qui en découlent n'est pas une option pratique dans la plupart des cas. Dans certains cas, il sera clair sans calculs que des dommages dus aux incendies sont possibles. Si l'on effectue quand même des études quantitatives sur les dommages potentiels dus aux incendies, on va partir d'un ou de plusieurs incendies représentatifs (en conséquence d'une ou plusieurs libérations représentatives). La quantification de l'étendue et de la probabilité de dommages dus aux incendies est un exercice difficile, pour lequel toute une série d'hypothèses et de calculs compliqués sont nécessaires. Le résultat sera dans chaque cas caractérisé par une grande marge d'erreur.

Cependant la pratique a démontré que des incendies se produisent effectivement dans les voisinages de substances inflammables. Cela a donné lieu à toute une série d'exigences réglementaires et de recommandations dans le domaine public, dans lesquelles des mesures de protection incendie sont prescrites en fonction du danger d'incendie présent et pas en fonction d'une probabilité numérique de dommages dus aux incendies. Comme mentionné ci-dessus, cette probabilité est en effet très difficile à estimer. En pratique, on va réserver l'évaluation quantitative des risques d'incendie pour des situations où l'on ne peut pas prendre de décision sur base du danger d'incendie.

## 2.3.7 Risques de dommage dus aux explosions

L'objectif de cette étude est de vérifier quels porteurs de dommages peuvent être atteints par une explosion et quelles en sont les conséquences potentielles. Sur base de cette information, une décision peut être prise sur les mesures de protection à prendre.

Nous nous limitons ici aux porteurs de dommages pour lesquels la protection contre les explosions est la plus pertinente: les personnes et les appareils critiques dans des bâtiments.

Une approche systématique commence avec l'identification de tous les bâtiments sur le terrain de l'entreprise. Les bâtiments dont la destruction par une explosion n'a pas de conséquences notables pour la sécurité, ne doivent pas être retenus pour la suite de l'étude. Pour tous les autres bâtiments, on identifie les sources possibles de danger d'explosion. Pour les bâtiments pour lesquels aucune source de danger d'explosion ne peut être identifiée, l'étude s'arrête ici. Pour les bâtiments restants, il faudra établir des scénarios d'explosions représentatifs et calculer les ondes de pression auxquelles le bâtiment peut être exposé. Ces données permettent de déterminer les dommages au bâtiment. A partir des dommages aux bâtiments, on peut à la fin faire une estimation des dommages aux personnes présentes ou à un appareil.

Pour chaque bâtiment, la conclusion finale devra être que les dommages potentiels (éventuellement après la prise de mesures de protection) sont suffisamment faibles et par conséquent acceptables ou bien que la probabilité de dommages significatifs est suffisamment petite. Cette dernière conclusion nécessite une évaluation quantitative des risques et la détermination de critères relatifs au risque individuel et/ou de groupe.

## 2.3.8 Risques d'expositions aux substances libérées

Une recherche systématique des risques d'expositions commence par l'identification des porteurs de dommages potentiels. Nous pouvons faire une distinction entre différents types de porteur de dommages en fonction des risques qu'ils encourent et le degré de protection y afférant qui est appliqué en pratique:

- les personnes effectuant des manipulations opérationnelles au cours desquelles des substances dangereuses peuvent être libérées
- les personnes travaillant dans un bâtiment ou local fermé où une atmosphère dangereuse peut apparaître
- les personnes dans des zones à l'air libre pouvant être menacés lors de la libération de substances dangereuses dans des installations voisines
- les personnes dans des bâtiments dans le voisinage d'installations d'où peuvent être libérés des nuages de gaz (ou de vapeurs) dangereux.

Les risques d'exposition lors de la réalisation d'une tâche manuelle sont généralement examinés à l'aide d'une technique telle que l'analyse de tâche. Les équipements de protection individuelle doivent être choisis en fonction de l'exposition potentielle. Dans beaucoup de cas, on peut se baser sur des codes de bonne pratique.

Dans un local ou un bâtiment fermé, une fuite limitée peut déjà donner lieu à une atmosphère dangereuse. Souvent, la possibilité d'une telle atmosphère est suffisante pour prendre des décisions au sujet des mesures, telles que la détection de gaz avec alarme dans le bâtiment et aux accès, des chemins d'évacuation en suffisance, l'usage de masques de fuite (surtout lorsqu'une évacuation rapide n'est pas possible).

Pour les porteurs de dommage menacés par un nuage dangereux (provenant de l'entreprise elle-même ou du voisinage) des décisions peuvent être prises sur base

- de bonnes pratiques (pour des gaz très toxiques, le placement de détections de gaz dans l'installation est une bonne pratique)
- des concentrations auxquelles les personnes peuvent être exposées (qui peuvent être calculées via des modèles de dispersion)
- du risque individuel ou de groupe (tel que déterminé dans une évaluation quantitative des risques).



## 2.4 L'analyse des mesures

L'identification des différents événements indésirables pouvant survenir dans les scénarios de libération et l'évaluation des risques y afférent, nous apprend quelles mesures nous devons prendre pour maîtriser ces risques de manière suffisante. Les mesures prises réduiront seulement les risques à condition qu'elles soient et restent efficaces et suffisamment fiables. De plus, les risques introduits par la mesure elle-même doivent également être maîtrisés.

Une mesure est efficace si elle peut exercer la fonction de sécurité qui lui est attribuée. L'efficacité est en général liée aux dimensions d'une mesure et à la vitesse avec laquelle la mesure réagit. Considérons l'exemple d'un refroidissement à l'eau pour la protection contre un incendie. Il n'est pas seulement important que le débit d'eau soit suffisant et que la surface à protéger soit suffisamment mouillée, il est aussi important que le refroidissement soit activé à temps.

La fiabilité est liée au fait qu'une mesure fonctionne correctement au moment où c'est nécessaire (au moment où la mesure est sollicitée). Des facteurs importants pour la fiabilité sont:

- la qualité des composants et matériaux utilisés
- la tolérance aux défauts (le degré selon lequel la mesure continue à fonctionner malgré une faute)
- le degré d'autodiagnostic
- le comportement en cas de défaillance (le procédé se met-il dans une position de sécurité ou non lors de la défaillance de la mesure)
- la résistance et la protection contre des influences nuisibles auxquelles la mesure est exposée
- l'inspection périodique du fonctionnement correct.

Les mesures peuvent elles-mêmes aussi introduire de nouveaux risques. Par exemple si une sécurité instrumentale ferme une vanne, cela a une influence sur le fonctionnement en amont ou en aval de la vanne. La fermeture rapide de vannes peut de plus engendrer un coup de bélier dans la tuyauterie. Un autre exemple est le risque supplémentaire de corrosion qu'une couche de protection résistante au feu peut introduire.

Le fait que des mesures entraînent avec elles des risques supplémentaires, ne doit pas être une raison pour biffer ces mesures sans plus. Cela signifierait en effet que le risque pour lequel la mesure était prévue au départ, n'était pas ou reste maîtrisée de manière insuffisante. Des solutions pour des risques introduits par des mesures sont: prendre des mesures supplémentaires pour les risques apportés, adapter la mesure ou prendre des mesures alternatives et équivalentes.

Lors de la conception de mesures, il est donc important que l'on réfléchisse sur les points d'attention suivants:

- efficacité
- fiabilité
- risques supplémentaires introduits par la mesure elle-même.

Il n'est pas suffisant que ces points d'attention soient repris de manière implicite ou par hasard dans la conception. Ils doivent être explicitement abordés et d'une manière systématique. La maîtrise des risques de procédés en dépend. On peut donc faire tant que l'on veut de telles identifications approfondies et complètes des risques et spécifier des mesures de haute qualité, si les mesures ne sont pas efficaces ou fiables, les efforts et bonnes intentions préalables perdent complètement leur objectif.

Au chapitre 12, nous allons expliciter ces trois points d'attention en termes d'exemple pour une série de mesures très courantes.

## 2.5 L'étude des dangers de procédé

Les dangers qui sont à la base des risques de libérations indésirées sont les substances et les réactions qui sont ou peuvent être présentes dans l'installation. Les dommages dans un scénario de libération seront dus aux substances ou à la quantité d'énergie libérées. Des réactions peuvent donner lieu à la montée de la pression dans un équipement et à sa rupture explosive. Des substances peuvent bien entendu aussi jouer un rôle dans certaines phénomènes qui peuvent mener à des libérations indésirées, par exemple par leur caractère corrosif.

L'étude des substances et réactions dans une installation est la base pour l'identification des risques et l'analyse des mesures. Une étude systématique des dangers de procédé nécessite en premier lieu que l'on identifie toutes les substances et toutes les réactions qui sont ou peuvent être présentes dans l'installation.

Lors de l'inventaire des substances, on ne peut pas se limiter aux "rôles principaux". Des substances présentes en petites quantités ou ne participant pas activement au procédé, peuvent aussi apporter une contribution importante au potentiel de dangers, par exemple parce qu'elles peuvent s'accumuler dans certaines parties de l'installation et donner lieu à des réactions indésirées.

Les réactions souhaitées dans un procédé sont connues et leur identification ne peut pas poser de problèmes. On ne peut toutefois pas se limiter aux seules réactions dans les réacteurs. Des réactions désirées peuvent également avoir lieu dans des équipements qui ne sont pas considérés comme des réacteurs. Pensons par exemple aux fours de combustion, aux installations pour la purification des matières premières, aux installations pour le traitement des déchets, etc.

Ce qui est moins évident, c'est l'identification des réactions indésirées qui peuvent avoir lieu lorsque des substances entrent en contact de façon fortuite ou lorsque des conditions déviantes apparaissent dans l'installation (de pression, température, concentration, ...), qui rendent possible des réactions qui n'ont pas lieu en fonctionnement normal. Une entreprise doit pouvoir démontrer qu'il a été examiné de manière systématique si des réactions indésirées étaient possibles dans l'installation.

Une étape suivante dans l'étude des dangers de procédé est l'examen des propriétés des substances et réactions. Les propriétés de substances à examiner ont au moins trait aux champs de danger suivants:

- décomposition thermique
- polymérisation
- corrosion et attaque chimique
- érosion
- incendie et explosion
- réactivité
- intoxication par inhalation
- intoxication ou brûlures par contact avec la peau
- nocivité pour l'environnement.

Pour avoir une vue approfondie sur toutes ces propriétés, une fiche de sécurité sommaire ou une MSDS (material safety data sheet) ne sera pas toujours suffisante et on devra consulter des sources d'informations plus spécialisées.

Pour les réactions identifiées, il faut au moins connaître le schéma réactionnel, tout comme les conditions auxquelles la réaction peut avoir lieu (pression, température, influence de catalyseurs, ...), la cinétique et la chaleur de réaction.

Si l'on ne trouve pas les propriétés des substances et réactions dans le domaine public, l'exploitant doit prendre lui-même l'initiative de laisser faire les tests nécessaires.

La réalisation de l'analyse des dangers devrait être une occasion pour examiner si le potentiel de danger de l'installation peut être diminué. De cette façon, on rend l'installation intrinsèquement plus sûre. Les stratégies les plus importantes pour diminuer le potentiel de dangers d'une installation sont:

- remplacer des substances par des substances moins dangereuses
- choisir des réactions moins dangereuses
- limiter les quantités de substances dangereuses
- atténuer les conditions de procédé (pression plus faible, températures moins extrêmes, concentrations plus faibles, ...).

Il n'est pas toujours possible d'appliquer ces stratégies mais cela vaut toujours la peine de les prendre en considération. Lors de la conception ou de modifications d'installations, cela devrait être un réflexe immuable de réfléchir sur les possibilités de limiter les dangers.

## **2.6 La réalisation d'études de sécurité des procédés**

### **2.6.1 Les parties d'une étude de sécurité des procédés**

Le terme d'étude de sécurité des procédés vise l'ensemble des études nécessaires pour identifier et évaluer les risques de libérations indésirées et pour spécifier les mesures nécessaires pour maîtriser ces risques.

Nous avons identifié ci-dessus différentes fonctions de sécurité qui correspondent à différents "risques partiels". Ces risques partiels font partie du risque global de libérations indésirées et correspondent aux événements qui peuvent avoir lieu dans un scénario de libération. Chaque fonction de sécurité que nous avons définie représente une certaine manière d'agir sur la chaîne d'évènements, qui nous permet de la rompre ou tout au moins de l'amener vers des événements moins dangereux.

Nous proposons dans cette publication que chaque fonction de sécurité fasse l'objet d'une étude séparée. Nous considérons aussi l'étude des dangers comme une partie séparée ainsi que l'analyse des mesures.

### **2.6.2 Etudes de sécurité de procédés lors de la conception et de modifications d'installations**

La réalisation d'études de sécurité des procédés doit intégralement faire partie du procédé de conception d'une nouvelle installation. Il ressort en effet clairement de ce qui précède que les mesures pour la maîtrise des risques liés aux accidents majeurs ne se limitent pas à quelques équipements de sécurité qui sont ajoutés à une installation comme une sorte de solution "en bout de chaîne". Certaines mesures correspondent à des choix fondamentaux qui sont abordés à un stade relativement précoce de la conception, tel que l'implémentation d'une installation sur le site, le choix des conditions de fonctionnement, les critères de conception de différents équipements, etc.

La réalisation d'une analyse des dangers peut déjà commencer à partir du début naissant de chaque projet: les produits finaux souhaités, la voie de synthèse et les matières premières exigées sont en effet les premières données de conception disponibles.

L'étude des différentes fonctions de sécurité peut être réalisée en fonction de l'information qui est disponible sur la nouvelle installation. Les événements indésirables peuvent être dépistés dès que le premier schéma de flux a été établi. Au début, les scénarios d'accident seront formulés en termes relativement généraux, mais au fur et à mesure que l'installation prend forme, les causes et les conséquences pourront aussi être décrites plus en détails.

La procédure de conception doit prévoir une série de discussions formelles en matière de sécurité, soutenues au maximum par des méthodes, adaptées à la fonction de sécurité et fixées par procédure.

La réalisation d'études de sécurité est aussi à l'ordre du jour lors de la réalisation de modifications aux installations, ou à des bâtiments ou même lors de modifications dans des sources de danger externes. Il est clair que toutes les fonctions de sécurité ne

seront pas aussi pertinentes pour chaque modification. C'est pourquoi il est important de déterminer lors de chaque modification quelles parties de l'étude de sécurité des procédés doivent être réalisées.

Si de nouveaux produits sont introduits ou si des modifications importantes sont apportées concernant les conditions de procédé ou la quantité de substances dangereuses, on modifie potentiellement le potentiel de danger et une étude de dangers doit aussi être réalisée.

### 2.6.3 La révision périodique des études de sécurité des procédés

L'accord de coopération demande une révision du rapport de sécurité tous les 5 ans. Vu qu'un rapport de sécurité est rédigé sur base des études de sécurité réalisées, une révision des études de sécurité doit être à la base de la révision du rapport de sécurité.

La révision périodique des études de sécurité est une pratique qui est aussi fortement recommandée dans la littérature en matière de sécurité des procédés<sup>3</sup>. Il y a plusieurs arguments pour la révision périodique des études de sécurité, même pour des installations qui ne changent pas ou peu au cours des années.

#### *a. Tendre vers une identification complète des risques*

La probabilité est réelle que l'on oublie certaines causes ou conséquences dans chaque étude de sécurité. En répétant régulièrement l'étude, on va cependant se rapprocher plus de l'inventaire complet de tous les risques possibles d'accidents majeurs.

#### *b. Effet cumulatif de (petites) modifications aux installations*

Une installation reste rarement inchangée au fil des années. Différentes petites modifications, qui chacune ont été estimées comme "trop légères" pour justifier une étude de sécurité, peuvent ensemble avoir par contre un impact significatif sur les risques d'une installation.

#### *c. Evolution de l'état de la technique*

L'état de la technique évolue constamment, aussi sur le plan des techniques de sécurité. Certaines techniques peuvent par exemple ne pas être disponibles lors de la conception d'une installation, avoir été insuffisamment robuste ou trop chère, de manière à ne pas avoir été implémentées. Pensons par exemple à l'évolution sur le plan des techniques de mesure et des systèmes de dosage. Des études de sécurité périodiques peuvent être une occasion pour évaluer l'utilisation de techniques plus récentes.

#### *d. Evolution dans la perception des risques*

Il n'y a pas que la technique qui évolue, également les attentes en matière de niveau de sécurité dans la société en général et dans l'industrie en particulier. Pour certaines situations qui étaient considérées comme pratique acceptable il y a dix ans, ce n'est peut-être plus le cas maintenant et des mesures de prévention supplémentaires sont exigées.

#### *e. Formation, conscientisation et communication*

La réalisation d'études de sécurité est pour les participants une forme importante de formation et de conscientisation en matière de sécurité. C'est l'occasion idéale

---

<sup>3</sup> Par exemple dans la publication "Revalidating Process Hazard Analyses", une publication du CCPS (Center for Chemical Process Safety) de l'AIChE (American Institute of Chemical Engineers)

pour rafraîchir et porter à nouveau à l'attention les connaissances sur les dangers et les risques d'une installation déterminée. Dans chaque étude de sécurité réalisée en groupe, il se produit un échange considérable d'informations entre différentes disciplines, entre différents niveaux hiérarchiques, entre ingénieurs et opérateurs, entre différents âges, ...

## **2.7 La documentation des études de sécurité des procédés**

### **2.7.1 L'importance de la documentation**

La qualité d'une étude peut seulement ressortir de la qualité des documents contenant les résultats de l'étude. Une étude qui a été réalisée d'une manière systématique et qui donne lieu à des conclusions claires donnera également lieu à une documentation structurée et claire.

Pour souligner l'importance d'une bonne documentation, nous introduisons un terme spécifique, à savoir la "documentation de sécurité des procédés". La documentation de sécurité des procédés est l'ensemble des documents actuels et contrôlés dans lesquels tous les risques (partiels) de libérations indésirées sur un site déterminé d'une entreprise ont été identifiés et dans lesquels les mesures qui ont été (ou seront) effectivement implémentées ont été décrites.

La documentation de sécurité des procédés n'est donc pas le rassemblement des études réalisées dans le cadre de projets ou de l'enquête d'accidents. De telles études ont en effet la plupart du temps qu'une portée limitée (elles se limitent à la partie modifiée de l'installation et au sein de la partie modifiée souvent uniquement aux modifications).

Pour arriver à une documentation de sécurité des procédés, un effort supplémentaire est nécessaire pour intégrer les informations issues de projets dans un paquet d'information actuel lié à l'installation.

Disposer d'une documentation de sécurité des procédés est indispensable pour satisfaire à l'obligation de l'accord de coopération pour pouvoir démontrer à tout moment que les mesures nécessaires pour la maîtrise des risques liés aux accidents majeurs ont été prises. Ce devoir de preuve sous-entend une information claire, structurée et actuelle sur les risques d'accidents majeurs et les mesures prises.

L'effort supplémentaire pour rédiger une documentation de sécurité des procédés et la garder actuelle n'est pas seulement nécessaire dans le cadre du devoir de preuve. La documentation de sécurité des procédés est un outil indispensable pour l'entreprise pour gérer les risques de procédés. Via la documentation de sécurité des procédés, la connaissance sur les risques peut être conservée au sein de l'entreprise et transmise aux nouveaux collaborateurs. La documentation de sécurité des procédés est la base de départ idéale pour la réalisation des études de sécurité ultérieures dans le cadre de modifications et lors de la révision périodique des études de sécurité. La documentation livre un aperçu de toutes les mesures et peut être utilisée pour vérifier si les programmes d'inspection sont complets. Il devrait aussi ressortir d'une bonne documentation de sécurité des procédés pour quelles situations on compte sur l'équipe d'intervention interne. Cette information est une donnée cruciale pour la planification d'urgence.



## 2.7.2 Une structure possible de la documentation de sécurité des procédés

### A. Les 10 composants de la documentation

L'approche que nous proposons dans cette publication implique que chaque fonction de sécurité fasse l'objet d'une étude séparée. A côté de cela, nous avons encore l'étude des dangers et l'analyse des mesures. Ensemble, cela donne la structure de documentation suivante pour une installation.

#### Site Seveso

- ↳ Etude des dangers de procédés
- ↳ Etude pour la maîtrise des déviations de procédé
- ↳ Etude pour la maîtrise de la dégradation des enveloppes
- ↳ Etude pour la limitation de fuites continues
- ↳ Etude pour la maîtrise de la dispersion de substances et d'énergie
- ↳ Etude pour éviter les sources d'ignition
- ↳ Etude pour la protection contre des incendies
- ↳ Etude pour la protection contre des explosions
- ↳ Etude pour la protection contre l'exposition aux substances libérées
- ↳ Etude des mesures

La structure documentaire possible pour chacune de ces études sera développée ci-dessous. Cette structure n'est pas la seule possible. De plus, il ne s'agit pas nécessairement de la manière dont l'information est conservée physiquement sur papier ou sous forme électronique.

### B. La documentation des dangers des procédés

Dans l'étude de dangers des procédés, nous identifions les substances et réactions dans chaque installation. Pour chaque substance et pour chaque réaction, les propriétés pertinentes sont recherchées et documentées.

### Documentation des dangers de procédés

- ↳ Installation
  - ↳ Substance
    - ↳ Propriétés
  - ↳ Réaction
    - ↳ Propriétés
- ↳ Analyse pour la limitation des dangers
  - ↳ Possibilités réalisées ou non pour limiter les dangers

## C. La documentation de la maîtrise des déviations de procédé

Une étude des déviations de procédé est réalisée par équipement. Nous retrouvons donc aussi la division d'une installation en équipements dans la documentation de l'étude.

Pour documenter les risques liés aux déviations par équipement, on peut utiliser des "scénarios de déviation", qui relient une déviation déterminée et ses conséquences. Dans cette publication, nous proposons d'exprimer les conséquences des déviations en termes de nature et de quantité de substances libérées. Pour chaque scénario est liée une évaluation pour argumenter que les mesures sont suffisantes pour maîtriser le risque.

La documentation de cette fonction de sécurité prend donc la forme suivante:

### Documentation de la maîtrise des déviations de procédé

- ↳ Installation
  - ↳ Equipement
    - ↳ Scénario de déviation
      - ↳ Chaîne d'évènements entre la(les) déviation(s) initiale(s) et la libération
      - ↳ Mesures pour prévenir que la déviation ne donne lieu à la déviation
      - ↳ Evaluation

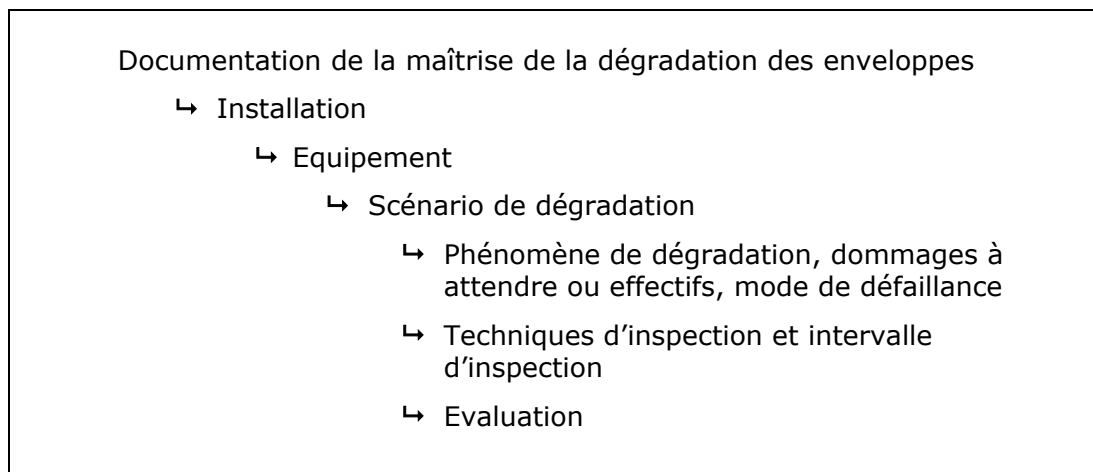
## D. La documentation de la maîtrise de la dégradation des enveloppes

Les phénomènes de dégradation sont recherchés par équipement. La division de l'installation ne doit pas nécessairement correspondre à la division utilisée lors de l'étude des déviations. Pour chaque équipement, on recherche les phénomènes de dégradation auxquels on peut s'attendre (sur base des conditions de procédé) et quels phénomènes de dégradation se produisent effectivement (à mesure que l'on acquiert de l'expérience avec l'enveloppe).

Les risques de dégradation pourraient être décrits dans des "scénarios de dégradation" dans lesquels les éléments suivants sont repris: un phénomène de dégradation, le type de dommages à l'enveloppe à la suite de la dégradation, le type de défaillance possible à la suite des dommages.

A chaque scénario sont définies les mesures afin de limiter ou de ralentir les dommages dus au phénomène de dégradation et les mesures prises afin de suivre la progression de la dégradation. A chaque scénario est également lié une évaluation de laquelle il ressort si l'équipement peut continuer à être utilisé jusqu'à la prochaine inspection.

La documentation de cette fonction de sécurité prend alors la forme suivante.



## **E. La documentation de la limitation de libérations continues**

L'étude de la limitation de libérations continues débute avec l'identification des équipements dans lesquelles se trouvent de grandes quantités de substances dangereuses. On pourrait, pour chaque équipement directement mentionner les mesures (les vannes d'urgence présentes, les possibilités pour transférer le contenu, ...) mais nous proposons ici de travailler via des scénarios de fuite, dans lequel le scénario part d'une fuite représentative et finit avec la libération maximale qui pourrait survenir si l'on n'intervient pas. Pour chaque fuite, on documente les mesures prises et on en argumente le choix. Lorsqu'aucune mesure n'est prise, il est aussi important de le mentionner et de bien en documenter les raisons.

La documentation de l'étude de cette fonction de sécurité prend alors la forme suivante.

Documentation de la limitation de libérations continues

- ↳ Installation
  - ↳ Equipement
    - ↳ Scénario de fuite
      - ↳ Fuite représentative – quantité maximale pouvant être libérée
      - ↳ Mesures pour limiter la libération suite à la fuite représentative
      - ↳ Evaluation

## F. La documentation de la maîtrise de la dispersion de substances et d'énergie

Dans l'étude de la dispersion de substances et d'énergie, on part également de la division de l'installation. Dans la plupart des cas, le degré de résolution de la division de l'installation dans cette étude peut être plus faible que par exemple pour l'étude des déviations de procédé et on peut identifier les fuites représentatives pour certaines zones (encuvements, blocs avec des installations). Dans cette étude, un équipement peut donc comprendre plusieurs appareils de procédé.

Pour documenter les risques de dispersion, nous proposons de travailler avec des "scénarios de dispersion". Les scénarios de dispersion partent d'une libération représentative et finissent à la situation qui survient dans le cas où aucune mesure n'est prise (par exemple une pollution de l'eau souterraine, la formation d'un nuage explosif, d'un nuage toxique dans une certaine zone). Il est important d'examiner les différents chemins de dispersion. Dans certains cas, il peut donc y avoir plusieurs événements finaux pour une seule libération. Pour chaque scénario, les mesures sont définies pour maîtriser la dispersion. Le choix des mesures est argumenté.

La documentation de l'étude de cette fonction de sécurité prend alors la forme suivante.

Documentation de la maîtrise de la dispersion des substances et d'énergie

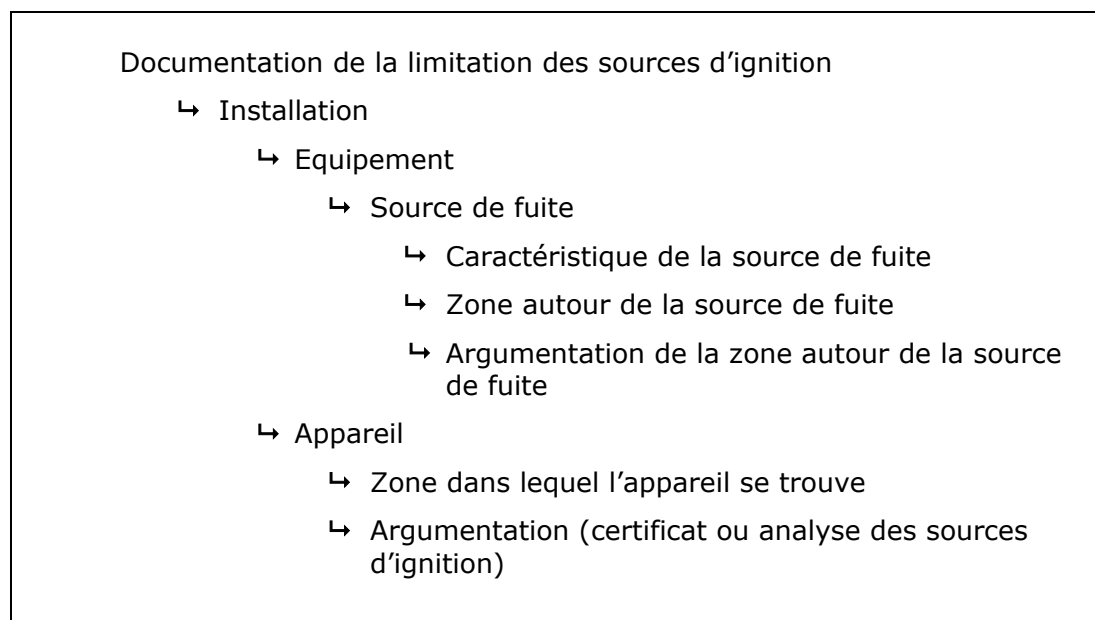
- ↳ Installation
  - ↳ Equipement
    - ↳ Scénario de dispersion
      - ↳ Fuite représentative – résultat de la dispersion sans mesure
      - ↳ Mesures pour maîtriser la dispersion
      - ↳ Evaluation

## G. La documentation de la limitation des sources d'ignition

Pour l'étude pour éviter les sources d'ignition, on peut utiliser des tableaux dans lesquels les sources de fuite sont identifiées et caractérisées (degré d'activité, degré de ventilation). Pour chaque source de fuite, les zones correspondantes sont documentées et argumentées (par exemple en référant à un zonage type issu d'un standard de zonage). Les sources de fuite sont mentionnées par équipement. La structure de documentation commence ici aussi avec une division de l'installation.

En plus de l'aperçu des sources, on peut aussi dresser un aperçu séparé de tous les appareils utilisés qui sont placés partiellement ou complètement en zone. Dans le schéma ci-dessous cette liste est dressée par installation. Pour chaque appareil, il est mentionné dans quelle(s) zone(s) il est mis en place et quel doit être la catégorie réglementaire correspondante. Pour finir, il est argumenté s'il répond aux exigences relatives à la suppression des sources d'ignition correspondantes à la zone. Si l'on ne peut pas référer à des certificats du fabricant, il faudra faire soi-même une analyse des sources d'ignition.

La documentation de cette fonction de sécurité prend alors la forme suivante.



## H. La documentation de la protection contre les incendies

L'étude pour la protection contre les incendies est réalisée en fonction des porteurs de dommage à protéger. La structure de la documentation pour cette fonction commence donc avec l'identification des porteurs de dommage et peut par exemple se présenter comme suit.

### Documentation de la protection contre les incendies

- ↳ Installation
  - ↳ Equipement
    - ↳ Structure portante
      - ↳ Section de la structure portante (par exemple étage)
  - ↳ Chemin de câbles
    - ↳ Section du chemin de câbles (par ex, à l'intérieur et à l'extérieur des limites de l'installation)
  - ↳ Manipulation opérationnelle (avec un risque accru d'exposition)
  - ↳ Zone où des personnes sont présentes
- ↳ Bâtiment
  - ↳ Local
- ↳ Utilités

Dans la proposition ci-dessus, une première série de porteurs de dommages ont été identifiés par installation, à savoir:

- Les équipements
- Les structures portantes
- Les chemins de câbles
- Les exécutants de manipulations opérationnelles avec un risque accru d'exposition
- Des personnes présentes dans une certaine zone dans l'entreprise (où un risque plus ou moins uniforme d'exposition à un incendie est présent)

Les grandes structures portantes peuvent éventuellement être divisées en différentes sections, s'il existe de réelles différences dans le risque dus aux incendies entre les sections. Pour les mêmes raisons, il peut parfois être utile dans certains cas de distinguer différentes sections dans les chemins de câbles et de diviser les bâtiments en locaux.

Les bâtiments administratifs ou les lieux de travail n'appartiennent souvent pas à une installation spécifique mais ont une fonction générale, c'est pourquoi nous les avons placés à part dans la structure de documentation. Cela concerne ici des bâtiments pouvant éventuellement être exposés à un incendie par propagation à partir d'une installation voisine.

Les utilités sont souvent communes à plusieurs installations, et pour cette raison, nous avons prévu une énumération séparée. Si elles sont spécifiquement dédiées à une installation, elles peuvent bien entendu aussi être reprises avec cette installation.

Les risques de dommages dus à des incendies peuvent être documentés pour chaque porteur de dommages via un scénario d'incendie dont la structure possible est reprise ci-dessous.

**Porteur de dommages**

- ↳ Scénario d'incendie
  - ↳ Incendie représentatif – dommages sans les mesures de protection
  - ↳ Mesures de protection contre l'incendie
  - ↳ Evaluation

## I. La documentation de la protection contre les explosions

Nous nous limitons ici aux bâtiments comme porteurs de dommages. Les risques sont documentés via des "scénarios d'explosion". Notons ici qu'il n'existe ici aucune mesure spéciale car les mesures que l'on prend font partie intégrante du bâtiment que l'on évalue. Cela n'a pas de sens d'évaluer un bâtiment "sans mesure", pour autant qu'il soit déjà évident de savoir où se situe la frontière entre le bâtiment non protégé et les renforts que l'on y apporte. La documentation de l'étude de cette fonction de sécurité prend alors la forme suivante.

**Documentation de la protection contre les explosions**

- ↳ Bâtiment
  - ↳ Scénario d'explosion
    - ↳ Explosion représentative
    - ↳ Dommages au bâtiment
    - ↳ Evaluation du risque

## J. La documentation de la protection contre l'exposition aux substances libérées

L'étude pour la protection contre l'exposition aux substances libérées est réalisée pour les différents porteurs de dommages (humains) que nous pouvons distinguer comme suit:

- exécutants de manipulations opérationnelles lors desquelles des libérations peuvent survenir
- personnes présentes dans certaines zones à l'air libre (dans lesquelles un risque plus ou moins uniforme d'exposition est présent)
- personnes présentes dans des bâtiments avec des substances dangereuses
- personnes présentes dans des bâtiments (menacés par une libération externe)

Ceci conduit à la structure suivante.

### Documentation de la protection contre l'exposition aux substances libérées

- ↳ Installation
  - ↳ Manipulation opérationnelle (lors de laquelle des libérations peuvent survenir)
  - ↳ Zone à l'air libre où des personnes sont présentes
  - ↳ Bâtiment où des substances dangereuses sont présentes
    - ↳ Local
- ↳ Bâtiment (administration, lieux de travail)

Pour chaque porteur de dommages, nous documentons les risques d'exposition via un "scénario d'exposition", comme repris ci-dessous.

### Porteur de dommages

- ↳ Scénario d'exposition
  - ↳ Libération représentative – dommages sans mesure de protection
  - ↳ Mesures de protection contre l'exposition
  - ↳ Evaluation

## 2.7.3 La documentation des mesures

Pour chaque mesure mentionnée dans une étude de sécurité, les points d'attention suivants sont examinés:

- efficacité
- fiabilité
- risques supplémentaires introduits par la mesure elle-même.

Nous considérons ici l'analyse des mesures comme une partie spécifique de la documentation de sécurité des procédés afin d'insister sur le fait qu'il s'agit bien d'études spécifiques qui sont complémentaires à l'étude des fonctions de sécurité.

La structure de documentation prend alors la forme suivante.



Documentation des mesures

↳ Installation

↳ Mesure

↳ Efficacité

↳ Spécifications importantes pour l'efficacité

↳ Fiabilité

↳ Spécifications importantes pour la fiabilité

↳ Risques introduits par la mesure

↳ Spécifications et mesures supplémentaires pour maîtriser le risque

En pratique, on disposera, pour la plupart des mesures, d'une ou l'autre forme de documentation (spécifications de conception, documentation du fournisseur, etc.) et on peut ajouter l'étude de la mesure (en tant que document formel) au dossier existant par mesure. Il est aussi possible de considérer l'étude de chaque mesure comme faisant partie de l'étude de sécurité dans laquelle elle est mentionnée.

# **3**

## **L'étude des dangers de procédé**

### **3.1 Identification des substances dans l'installation**

L'identification et l'analyse des substances et des réactions dans l'installation constituent la base pour l'étude des risques de procédé. Les propriétés dangereuses inhérentes des substances et les conditions physiques dans lesquelles elles se trouvent dans l'installation sont en effet déterminantes pour la nature et l'ampleur des dommages qui peuvent survenir lorsque ces substances sont libérées. De plus, les substances et réactions jouent un rôle dans toutes sortes de phénomènes pouvant occasionner une libération non désirée.

Lister les substances présentes en conditions normales, devrait, pour la plupart des installations de procédé, ne pas poser de problème.

La situation la plus simple est celle dans laquelle le procédé et les substances présentes pendant une longue période restent inchangées et dans laquelle l'introduction d'une nouvelle substance est plutôt exceptionnelle. Une telle modification dans le procédé doit être chapeauté par des procédures pour la gestion des modifications.

Dans certaines entreprises, il existe une grande rotation des substances présentes, comme par exemple dans les entreprises de stockage en réservoirs, les entrepôts ou les entreprises du secteur pharmaceutique et de la chimie fine. L'introduction de nouvelles substances est toutefois aussi connue à l'avance et peut parfaitement être maîtrisée par les procédures nécessaires pour l'acceptation de nouvelles substances ou pour les modifications de fonctionnement de procédé.

Dans certains secteurs spécifiques, la composition exacte des matières premières livrées n'est absolument pas évidente. Par exemple dans l'industrie de traitement des déchets, dans laquelle les flux à traiter sont la plupart du temps des mélanges complexes dont les fournisseurs ne savent pas eux-mêmes la composition exacte. Dans de telles activités, les procédures et les techniques pour l'échantillonnage et l'analyse des flux entrants sont d'une importance cruciale pour la maîtrise des accidents majeurs. Une stratégie suivie dans de telles entreprises, est la détermination immédiate des propriétés dangereuses des flux de déchets à l'aide de tests en laboratoire nécessaires.

Lors de l'inventaire des substances, il ne faut pas se limiter aux "acteurs principaux". Les substances présentes en petites quantités ou qui ne participent pas activement au procédé, peuvent aussi apporter une contribution importante au potentiel de danger, par exemple parce qu'elles peuvent s'accumuler dans certaines parties de l'installation et donner lieu à des réactions non désirées. Voici quelques exemples typiques de telles substances:

- impuretés dans les matières premières livrées;
- sous-produits des réactions de synthèse (souhaitées);
- produits de réaction des réactions non désirées.

## 3.2 Recherche des propriétés des substances

### 3.2.1 Les propriétés à rechercher

Les substances peuvent jouer un rôle dans l'occurrence de la libération. Une décomposition thermique, une réaction de polymérisation ou une explosion interne peuvent conduire à des hautes pressions et températures. Les propriétés des substances sont de plus déterminantes dans les phénomènes de dégradation qui peuvent menacer les enveloppes, comme toutes les formes de corrosion et d'érosion. Une fois libéré de l'installation, les propriétés des substances définissent la nature des dommages potentiels: feu, explosion, intoxication, brûlure chimique ou dommages environnementaux.

Le Tableau 3.1 reprend un aperçu des propriétés des substances les plus importantes devant être connues dans le cadre d'une étude de sécurité des procédés.

Tableau 3.1: Propriétés des substances pertinentes pour des études de sécurité des procédés

Champ de danger	Paramètres et informations pertinentes
Décomposition thermique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• température de décomposition</li> <li>• enthalpie de décomposition</li> <li>• conditions dans lesquelles la réaction de décomposition peut survenir (température, influence des substances avec un pouvoir catalytique, ...)</li> <li>• produits de décomposition</li> </ul>
Polymérisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• conditions dans lesquelles la substance peut polymériser</li> <li>• enthalpie de réaction</li> </ul>
Corrosion et attaque chimique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• comportement corrosif en combinaison avec des matériaux de construction courants: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ type de corrosion</li> <li>○ type de dommages</li> <li>○ vitesses de corrosion</li> </ul> </li> <li>• interaction chimique avec les matériaux de construction courants (par ex, fragilisation, formation d'hydrogène)</li> </ul>
Erosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• travail d'érosion (en fonction des vitesses des flux)</li> </ul>
Feu et explosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• point d'éclair</li> <li>• chaleur de combustion</li> <li>• température d'auto-inflammation</li> <li>• limites inférieure et supérieure d'inflammation, énergie d'inflammation</li> <li>• conductibilité et capacité de chargement électrostatique, produits de combustion</li> </ul>

---

Intoxication par inhalation	<ul style="list-style-type: none"><li>• l'effet sur l'homme par inhalation via les voies aériennes (en fonction des concentrations)</li><li>• valeurs IDHL ou LC50 (effet d'une exposition de courte durée à forte dose)</li></ul>
Intoxication ou brûlures par contact cutané	<ul style="list-style-type: none"><li>• l'effet d'un contact avec la peau (en fonction de la surface de contact et du temps d'exposition)</li></ul>
Dommages environnementaux	<ul style="list-style-type: none"><li>• données écotoxiques, aussi bien aiguës que chroniques (comme la toxicité aquatique, terrestre, bactériologique, ...)</li><li>• persistance et dégradabilité par voie biologique, via oxydation, via hydrolyse, ... (biodégradabilité)</li><li>• solubilité dans l'eau, mobilité dans le sol</li><li>• possibilités de bioaccumulation</li><li>• propriétés importantes pour la dispersion de la substance dans l'environnement, trajectoire environnementale (exposition)</li><li>• capacités de régulation hormonale</li><li>• formation d'ozone photochimique, capacité de destruction de l'ozone, effet de serre</li><li>• etc.</li></ul>
Réactivité	<ul style="list-style-type: none"><li>• réaction avec l'eau</li><li>• réaction avec les hydrocarbures</li><li>• réaction avec les acides et les bases</li></ul>

---

### 3.2.2 Sources d'informations

Les propriétés des substances couramment utilisées sont le plus souvent connues et rendues publiques dans des publications et travaux scientifiques. Pour les substances achetées, l'information peut être obtenue directement auprès du producteur, qui est obligé de fournir cette information.

Les informations que l'on retrouve dans les fiches de sécurité traditionnelles sont toutefois, la plupart du temps, trop sommaires pour la réalisation d'une étude de sécurité des procédés approfondie. Par exemple, sur une fiche de sécurité typique pour le butadiène, on retrouve ce qui suit: la substance peut facilement former des peroxydes et polymériser violemment avec des risques de feu et d'explosion". Sous quelles conditions ces peroxydes sont formés et quelles sont précisément leurs propriétés, ne figurent pas sur cette fiche de danger de base. Les peroxydes de butadiène forment une phase insoluble qui précipite. Les dépôts peuvent exploser lors d'impact au nettoyage. De telles informations sont essentielles lors de l'analyse des risques dans des installations avec du butadiène.

Les fiches de danger peuvent être utiles pour signaler que la substance présente certaines propriétés moins évidentes. Une analyse plus poussée de ces propriétés dans des sources d'informations plus approfondies est cependant la plupart du temps nécessaire.

Une analyse casuistique des accidents livre également des informations très utiles sur le potentiel de danger des substances.

L'échange d'information sur l'utilisation en sécurité des substances chimiques et des mélanges à travers les chaînes industrielles complètes est un des objectifs principaux du Règlement REACH. En échangeant des informations sur les substances chimiques et les

mélanges, le monde industriel peut rassembler d'une manière efficace des données sur les produits utilisés. Dans la banque de données ECHA, des informations comme par exemple les propriétés de danger, la classification et l'étiquetage, l'utilisation en sécurité, les propriétés chimiques et physiques, les informations éco-toxicologiques, les études sur l'exposition, ... peuvent être trouvées sur les matières premières, les produits intermédiaires et les produits finis qui sont enregistrés sous REACH.

Les fiches d'informations de sécurité forment une partie indissociable du système Règlement REACH. Celles-ci doivent être retranscrites pour le 1<sup>er</sup> juin 2015 au plus tard, conformément aux critères de classification et aux règles d'étiquetage du CLP (Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures) et elles doivent être complétées avec des informations supplémentaires qui étaient disponibles dans le cadre du Règlement REACH.

Si l'on ne parvient toutefois pas à trouver assez des données relatives aux dangers de certaines substances dans le domaine public, l'exploitant doit alors prendre lui-même l'initiative de faire effectuer les tests nécessaires. L'analyse de dangers forme en effet la base de l'étude de sécurité complète. C'est pourquoi, il ne peut pas être accepté que l'exploitant ne soit pas au courant de toutes les propriétés pertinentes de toutes les substances dans son installation.

En ce qui concerne l'industrie de traitement des déchets, il est de pratique courante que les propriétés dangereuses d'un flux de déchets soient déterminées par des tests en laboratoire, certainement dans les cas où les propriétés ne peuvent pas être déduites de la composition (puisque celle-ci n'est pas connue).

### **3.3 Identification des réactions**

Les réactions désirées dans un procédé sont connues et leur identification ne doit pas poser problème. On ne peut toutefois pas se limiter aux réactions dans les réacteurs. Même dans équipements qui ne sont pas considérés comme des réacteurs, des réactions désirées peuvent survenir. Pensons par exemple aux fours de combustion, aux installations pour la purification des matières premières, les installations pour le traitement des flux de déchets, etc.

Il est moins évident d'identifier les réactions indésirées pouvant survenir lorsque des substances rentrent en contact de manière fortuite ou lorsque des conditions déviantes (de pression, température, concentration, ...) se présentent dans l'installation. Des réactions sont rendues possibles alors qu'en fonctionnement normal, elles ne le sont pas. Une entreprise doit pouvoir démontrer qu'il a été recherché, d'une manière systématique, si des réactions indésirées pouvaient survenir dans l'installation.

Une recherche systématique des possibilités de réaction de substances entre elles peut se faire à l'aide d'une matrice d'interactions. Une telle matrice reprend dans ses colonnes et ses lignes toutes les substances pouvant être présentes dans l'installation. Chaque combinaison de deux substances correspond à une case dans la matrice, dans laquelle il peut être indiqué si une réaction est possible. La matrice d'interaction donne donc aussi un aperçu distinct des réactions possibles et de leurs propriétés.

Si une seule matrice d'interactions reprenant toutes les substances s'avère trop grande et pas ergonomique, une matrice distincte (1 x N) peut être créée pour chaque substance, matrice dans laquelle l'interaction de cette substance particulière avec toutes les autres substances est analysée.

Il est important de reprendre dans cette matrice, non seulement les substances souhaitées, dites "normales" mais également les substances qui peuvent être présentes d'une manière non désirée.

### **3.4 Recherche des propriétés des réactions**

Pour les réactions identifiées, le schéma réactionnel doit être connu, tout comme les conditions dans lesquelles la réaction peut survenir (pression, température, effet de catalyseurs, ...).

Des réactions exothermiques peuvent donner lieu à des augmentations de pression ou de température. Les propriétés inhérentes d'une réaction intéressantes en la matière sont la chaleur de réaction et l'éventuelle production nette de gaz. La vitesse à laquelle les gaz ou l'énergie sont produits est également intéressante à connaître. La connaissance des propriétés des réactions désirées est indispensable lors de la recherche des causes de libération hors des équipements dans lesquels elles ont lieu. La connaissance relative aux réactions indésirées est nécessaire pour estimer si une réaction indésirée peut effectivement se produire dans un équipement où deux substances réactives sont présentes mutuellement et pour estimer les conséquences d'une telle réaction (augmentation de la pression et/ou de la température, formation de produits de réaction dangereux, ...).

Des réactions indésirées peuvent également se produire en dehors des équipements. Pensons par exemple aux réactions dans les encuvements ou dans le système d'évacuation. Deux substances relativement non dangereuses peuvent réagir et libérer un produit de réaction dangereux.



## 3.5 Recherche sur la diminution du potentiel de danger

La réalisation de l'analyse des dangers devrait être une occasion pour examiner si le potentiel de danger de l'installation ne peut pas être diminué. On rendrait de cette manière l'installation intrinsèquement plus sûre. Le Tableau 3.2 liste un certain nombre de possibilités pour limiter le potentiel de danger d'une installation.

Tableau 3.2: Possibilités de diminution du potentiel de danger

1. remplacement de substances par d'autres substances moins dangereuses
2. suivi d'une voie de synthèse alternative mettant en œuvre des substances et/ou réactions moins dangereuses
3. choix des conditions de réaction telles que la pression de fonctionnement maximale admissible du réacteur ne puisse pas être dépassée lors la perte du refroidissement, par exemple en:
  - limitant les quantités de réactifs dans le réacteur en limitant le volume du réacteur ou les réservoirs de dosage;
  - limitant les débits d'alimentation des réactifs par le choix du type de pompe et du dimensionnement du réseau de tuyauteries.
4. limiter ou éliminer les capacités de stockage, par exemple par:
  - l'augmentation de la fiabilité de l'installation, et par là éviter le stockage nécessaire pour laisser tourner des parties d'installation pendant que d'autres sont à l'arrêt;
  - le dimensionnement correct (pas plus grand que nécessaire);
  - l'ajout de matières premières via des tuyauteries;
  - un meilleur planning de production.
5. limiter le contenu d'un réacteur, par exemple par:
  - une augmentation de la vitesse de réaction (meilleur mélange et contact des réactifs);
  - le choix du type de réacteur (par ex, généralement les réacteurs continus ou semi-batch nécessitent un contenu plus limité que les réacteurs batch; les réacteurs tubulaires sont souvent plus compacts que les réacteurs en réservoirs).
6. choix d'autres paramètres de fonctionnement plus doux, par exemple par:
  - le choix de stockages réfrigérés (sous le point d'ébullition atmosphérique) à la place d'un stockage sous (haute) pression;
  - la mise en œuvre d'autres catalyseurs (améliorés), grâce auxquels des pressions et températures moins hautes sont nécessaires.

La recherche d'une sécurité intrinsèque dépend fortement de l'inspiration et de la créativité des concepteurs. Il est important de signaler clairement aux concepteurs de l'installation qu'on aspire à tendre vers une sécurité intrinsèque.

Il existe une série de publications intéressantes au sujet de la sécurité intrinsèque, telles que:

- "Inherently Safer Chemical Processes", publié par le CCPS en 1996;
- "Cheaper, Safer Plants" de Trevor Kletz, publié par "The Institution of Chemical Engineers" en 1984.

Mettre de tels ouvrages à disposition des ingénieurs de conception et les leur faire lire peut constituer un soutien et un important stimulant dans la voie de la recherche de choix de conception intrinsèquement plus sûrs.

# 4 Maîtrise des déviations de procédé

## **4.1 Risques de libération dus à des déviations de procédé**

### **4.1.1 Déviations de procédé et le fonctionnement normal**

Nous utilisons le terme "déviations de procédé" pour faire référence à toutes les déviations par rapport à la conduite normale du procédé.

Pendant la conduite normale du procédé, les paramètres de procédé tels qu'entre autres la pression, la température, les débits et les concentrations restent entre certaines valeurs minimales et maximales. Ces valeurs déterminent ce que l'on appelle la "fenêtre opérationnelle". A côté de ces paramètres, la conduite normale du procédé est aussi caractérisée par une série de données discrètes, telles que l'ordre dans lequel certaines opérations ont lieu, la réalisation de la connexion correcte lors du (dé)chargement, la position correcte de vanne, etc.

Le confinement des substances et de l'énergie pendant le fonctionnement normal est la tâche de l'enveloppe. L'enveloppe doit être conçue et entretenue pour offrir une résistance à toutes les influences exercées sur elle lors du fonctionnement normal. Il n'est cependant pas évident que l'enveloppe résiste aux influences survenant lors de déviations de procédé.

La résistance de l'enveloppe peut diminuer en conséquence à toutes sortes de mécanismes de dégradation, de sorte qu'il peut quand même y avoir des libérations lorsque le procédé est conduit au sein de sa fenêtre opérationnelle. Ces mécanismes de dégradation doivent être identifiés, les dommages doivent être suivis via des inspections et l'installation doit être réparée à temps (ou mise hors service) avant que les enveloppes ne défaillent. L'étude des risques de dégradation de l'enveloppe fait l'objet du chapitre suivant.

Avant que nous ne traitons des risques de déviations de procédé, nous allons d'abord discuter des influences auxquelles l'enveloppe doit offrir une résistance lors de la conduite normale du procédé.

### **4.1.2 Résistance requise de l'enveloppe en fonctionnement normal**

Nous donnons ci-dessous un bref aperçu des principales influences auxquelles l'enveloppe doit offrir une résistance pendant le fonctionnement normal de l'installation.

#### **A. Haute pression et basse pression**

Une enveloppe doit être résistante aux pressions maximale et minimale pouvant survenir pendant la conduite normale. En pratique, cela signifie que les pressions de conception supérieure et inférieure de l'enveloppe doivent être respectivement plus grande et plus petite que les pressions maximale et minimale survenant dans l'enveloppe pendant le fonctionnement normal.

## B. Basse température

Lors d'une température décroissante, le mécanisme de rupture d'un matériau va passer de ductile à fragile à partir d'une certaine température. A des températures en-dessous de cette température de transition ("ductile/brittle transition temperature"), une rupture fragile peut avoir lieu et ce pour des tensions qui sont beaucoup plus faibles que celle exigée pour une rupture ductile (à des températures au-dessus de la température de transition).

C'est évident qu'une enveloppe doit être résistante à la température la plus basse qui peut survenir pendant le fonctionnement normal de l'installation.

## C. Haute température

Des températures plus élevées peuvent donner lieu au fluage des enveloppes métalliques. Le fluage est l'allongement à hautes températures et à charge constante et ce sur une période de temps déterminée. A une certaine température (élevée), le fluage va s'accélérer au cours du temps jusqu'à ce qu'une rupture se produise. Des températures élevées peuvent donc, en fonction de la valeur et des propriétés de l'enveloppe, donner lieu à une rapide rupture ou peuvent limiter la durée de vie d'une enveloppe.

Des caractéristiques typiques pour la résistance au fluage à une température donnée sont:

- la tension pour 1% d'allongement après 100 000 heures;
- la tension de rupture après 100 000 heures;
- le temps de rupture à une tension déterminée (en anglais: "creep life").

Des températures limites indicatives pour l'apparition d'un fluage sont:

- Mild steel: 400°C;
- Low Allow Steel: 500°C;
- Austenitic stainless steel: 600°C.

Une enveloppe doit exercer une résistance suffisante contre les températures les plus élevées survenant pendant le fonctionnement normal de l'installation. Cela signifie que soit il n'y a pas de fluage, soit le fluage et les phénomènes de vieillissement en découlant se manifestent suffisamment lentement, de manière à pouvoir être suivis et que l'enveloppe puisse être mise hors service et remplacée avant que la durée de vie de l'enveloppe n'arrive à sa fin.

## D. Forces hydrostatiques et hydrodynamiques

Un équipement doit résister aux forces issues du poids des substances présentes. Le fonctionnement normal est caractérisé dans ce cas par la phase des substances présentes (liquide, gaz, solide) et leurs quantités.

L'équipement doit également être résistant contre les forces hydrodynamiques survenant lors du fonctionnement normal et qui sont la conséquence du courant de liquides, de gaz et de poudres dans l'installation.

Les calculs de résistance doivent démontrer que ces forces ont été déterminées et que l'installation et ses appuis ont été conçus pour compenser ces forces.

Dans le cas où l'équipement fera l'objet d'une épreuve hydraulique, il faut également tenir compte lors de la conception des forces hydrostatiques et hydrodynamiques qui sont alors exercées sur l'équipement.

## **E. Tensions thermiques**

Une enveloppe, certainement si elle est fabriquée en métal, va rétrécir et s'allonger en cas de températures changeantes. Cela peut engendrer des tensions thermiques.

Le problème de tensions thermiques est d'autant plus critique si le changement de température reste limité à une partie de l'équipement, ou lorsque le changement de température a lieu beaucoup plus rapidement dans une partie déterminée. Pensons par exemple à un échangeur de chaleur où il peut y avoir une différence de température, certainement lors du démarrage, entre les différents côtés de la surface d'échange de chaleur.

L'enveloppe doit être résistante aux tensions thermiques survenant pendant le fonctionnement normal. Les caractéristiques pour le fonctionnement normal sont dans ce cas les températures minimales et maximales pouvant survenir.

## **F. Attaque par des substances chimiques**

Une enveloppe doit résister suffisamment à l'attaque chimique due aux substances présentes lors de la conduite normale du procédé. A cet effet, on tient compte des conditions les moins favorables attendues. Ainsi, il faut tenir compte du fait que l'attaque peut fortement augmenter à des températures plus élevées ou à des concentrations déterminées qui peuvent survenir pendant certaines phases de la conduite du procédé.

Une résistance suffisante signifie que soit aucune attaque n'a lieu, soit que cette attaque se déroule suffisamment lentement de sorte qu'elle puisse être suivie au cours du temps et que l'enveloppe puisse être réparée ou remplacée à temps, avant que l'attaque ne donne lieu à une libération.

Une entreprise doit établir des spécifications de matériaux pour tous les composants en fonction des substances avec lesquelles ils peuvent venir en contact (dans tous les cas, en circonstances normales). Les matériaux spécifiés doivent être compatibles avec les substances présentes.

## **G. Charge due au vent et charge due à la neige et à la glace**

Le vent et le poids de la neige et de la glace peuvent exercer des forces considérables sur un équipement. L'installation doit être conçue pour les conditions climatologiques les plus extrêmes pouvant survenir dans une zone déterminée.

Les conditions climatologiques les plus extrêmes dont on tient compte dans la conception doivent être déterminées. Via des calculs de résistance, il faut pouvoir démontrer que l'on a tenu compte avec les forces correspondantes pouvant survenir.

### **4.1.3 Risques de libération lors de conditions de procédé déviantes**

Nous faisons la distinction entre trois différentes causes de libérations indésirées liées à des conditions de procédé déviantes:

- dégradation de l'enveloppe;
- percée via des ouvertures vers l'atmosphère;
- l'ouverture indésirée de l'installation.

## A. Dégradation de l'enveloppe

A cet effet il a été expliqué que l'enveloppe doit procurer une résistance vis-à-vis des charges qui s'exercent sur elle pendant le fonctionnement normal de l'installation. S'il est dévié de la conduite normale du procédé, alors il n'est plus évident que l'enveloppe continue à fournir une résistance aux influences qui menacent son intégrité. Rendre une enveloppe résistante vis-à-vis des conditions de procédé en dehors de la fenêtre opérationnelle est une option possible pour sécuriser le procédé. Une autre option consiste à éviter les déviations par rapport à la conduite normale du procédé.

Dans chaque cas, les déviations du procédé pouvant donner lieu au dépassement de la charge normale de l'enveloppe doivent être identifiées. Plus concrètement, cela concerne les déviations du procédé avec lesquelles:

- la pression ou la température se retrouve en dehors de la fenêtre opérationnelle normale;
- les forces hydrostatiques et hydrodynamiques deviennent plus grandes que celles dont on a tenu compte lors du fonctionnement normal;
- les tensions thermiques deviennent plus importantes que celles lors du fonctionnement normal;
- une attaque chimique rapide de l'enveloppe a lieu.

Des déviations de la conduite normale du procédé peuvent aussi donner lieu à des charges qui ne se présentent pas lors du fonctionnement normal et pour lesquelles les enveloppes ne sont alors pas conçues non plus. Par exemple, prenons un camion ou un wagon-citerne qui démarre avant qu'il ne soit déconnecté. La liaison temporaire et la connexion avec l'installation fixe ne sont pas conçues pour résister aux forces qui apparaissent alors.

## B. Libération des flux sortant

Des exemples de flux vers l'environnement pendant le fonctionnement normal sont:

- la purge de gaz inertes;
- la respiration des réservoirs de stockage atmosphériques;
- le drainage d'une couche aqueuse dans la partie inférieure d'un réservoir.

En fonctionnement normal, on peut supposer que de tels flux ne contiennent pas de substances dangereuses en quantités formant un danger aigu pour l'homme et l'environnement. Des déviations dans la conduite peuvent cependant permettre que des substances dangereuses soient libérées via ces flux sortants.

Considérons l'exemple d'un scrubber qui élimine une substance dangereuse dans un effluent gazeux. Une libération peut avoir lieu lorsque, suite à une déviation, le scrubber ne serait plus capable de faire descendre la concentration en substance dangereuse dans le flux sortant en dessous d'une valeur de sécurité. En d'autres mots, les substances dangereuses feraient une percée via l'effluent gazeux sortant du scrubber.

Un autre exemple est celui d'une phase aqueuse décantée qui est drainée dans la partie inférieure d'un équipement. Lorsqu'au-dessus de la phase aqueuse est présente une couche de liquide contenant un produit dangereux, la phase dangereuse percera si le drainage n'est pas arrêté à temps.

Le surremplissage d'un réservoir atmosphérique avec lequel du liquide déborde via la soupape de respiration est finalement aussi un exemple avec lequel une percée a lieu, à savoir de liquide via un flux sortant qui en fonctionnement normal est sous forme gazeuse.

## **C. Libération suite à l'ouverture de l'installation**

Bon nombre d'installations sont de temps en temps ouvertes pour des raisons opérationnelles.

Des exemples sont:

- la déconnexion d'un flexible;
- la prise d'échantillon;
- l'ouverture d'une trappe dans un mélangeur ou un réacteur pour l'ajout manuel de substances.

Lors de ces opérations, où l'installation est volontairement ouverte, des substances peuvent se libérer si l'équipement n'est pas d'abord suffisamment vidé.

Des installations peuvent également être ouvertes de manière accidentelle. Des exemples sont l'ouverture accidentelle d'une vanne sur une tuyauterie vers l'atmosphère ou entamer des travaux sur une mauvaise tuyauterie lors de travaux de modification.



## **4.2 Mesures pour éviter les libérations**

### **4.2.1 Choix de conception des enveloppes**

#### **A. Principe général**

Pour éviter une dégradation d'une enveloppe en conséquence d'une certaine déviation dans la conduite du procédé, on peut choisir de rendre l'enveloppe résistante contre l'influence néfaste dont est accompagnée la déviation.

De toutes les mesures pour éviter des libérations suite à des conditions de procédé déviantes, cette possibilité se situe en tête de la hiérarchie de prévention.

Une des menaces les plus courantes pour une enveloppe est une haute pression. Lorsqu'en conséquence d'une déviation déterminée de la conduite normale du procédé, la pression devient plus élevée que la pression opérationnelle maximale, on peut choisir de rendre l'enveloppe résistante à cette haute pression anormale. La résistance d'une enveloppe à une haute pression est une notion moins simple et évidente qu'il n'en a l'air. C'est pourquoi nous allons ci-dessous un peu approfondir le sujet.

#### **B. La résistance d'une enveloppe à une haute pression**

On pourrait utiliser comme définition qu'une enveloppe est résistante à une pression déterminée si l'enveloppe ne va pas défaillir à cette pression. Cette définition pose cependant des problèmes pratiques. Ce n'est en effet pas du tout évident de prévoir à quelle pression une enveloppe va se rompre. On ne peut pas non plus répondre à cette question en termes absolus, mais c'est une question de probabilités. Plus la pression est haute, plus la probabilité de défaillance est grande.

Un réservoir est conçu pour offrir une résistance à une certaine pression donnée: la pression de conception. En principe, après la conception d'un réservoir, on peut calculer à l'aide de calculs théoriques de résistance (à partir des dimensions exactes du réservoir, du choix du matériel, etc.) la pression de fonctionnement maximale dite acceptable (qui en principe est plus élevée que la pression de conception prescrite). Dans beaucoup des cas, cette pression de fonctionnement maximale acceptable n'est cependant pas calculée mais assimilée à la pression de conception.

Le dépassement de cette pression de conception (ou de la pression de fonctionnement maximale acceptable) ne va pas automatiquement conduire à la rupture du réservoir. La plupart des codes de conception (tels que ceux publiés par l'American Petroleum Institute (API) et par l'American Society of Mechanical Engineers (ASME)) demandent que des soupapes de sécurité ou des disques de rupture limitent la pression dans le réservoir à 110% (et en cas d'incendie à 121%) de la pression de conception. Un dépassement temporaire de 10% de la pression de conception (et de 21% pour le scénario d'incendie) est donc acceptable.

Les réservoirs sous pression sont de plus testés lors de leur mise en service à des pressions encore bien plus hautes que la pression de conception. Selon la directive équipement sous pression, la pression de test peut s'élever jusqu'à 143% de la pression maximale admissible. Vu que le réservoir sous pression doit supporter avec succès cette pression, on peut admettre que le réservoir –dans son état d'origine et à la température à laquelle le test a été réalisé– peut résister à des pressions encore plus hautes. Lorsque

la pression augmente dans un réservoir, il y aura en principe d'abord déformation avant d'avoir une perte de confinement.

Ce qui est "la pression d'éclatement" finale du réservoir, n'est pas déterminé en pratique. Cette pression d'éclatement peut diminuer au cours du temps suite à toutes sortes de mécanismes de dégradation tels que la corrosion, l'érosion, la fatigue, etc. La pression d'éclatement varie aussi en fonction de la température.

Afin d'évaluer les risques de surpression d'une manière consistante, il est nécessaire qu'une entreprise donne des directives claires aux exécutants des analyses de risques au sujet des effets de surpression sur une enveloppe. Les services d'inspection Seveso sont d'avis que pour des pressions supérieures à celles autorisées lors de dimensionnement de la décharge de pression (c'est-à-dire 110% de la pression de conception pour la plupart des scénarios), on doit s'attendre à une perte de confinement. Il s'agit d'un point de vue conservatif, mais conforme aux codes pour la conception des sécurités de surpression. La pression de test n'est pas une alternative parce que cette dernière est uniquement représentative pour le réservoir dans son état d'origine et pour la température de test qui est souvent la température ambiante.

## 4.2.2 Mesures de contrôle

Les mesures de contrôle maintiennent le procédé dans les limites du fonctionnement normal. Nous pouvons faire une distinction entre différents types de mesures de contrôle:

- boucles de régulation;
- manipulations de contrôle;
- mesures de contrôle mécaniques.

Les boucles de régulation fonctionnent complètement de manière automatique. Une variable déterminée est mesurée, ce signal est traité, la plupart du temps dans un ordinateur de procédé ou dans un PLC qui conduit un élément final déterminé (souvent une ou plusieurs vannes).

Nous utilisons le terme de "manipulations de contrôle" pour les manipulations réalisées par des personnes et faisant partie du fonctionnement normal. Des exemples sont:

- le réglage manuel de certaines variables (par exemple un débit);
- la connexion d'un camion-citerne;
- l'ajout d'un produit déterminé à un réservoir de mélange.

Des exemples de mesures de contrôle mécaniques sont:

- des connexions spécifiques devant prévenir une connexion erronée lors du déchargement d'un camion-citerne;
- des limiteurs de débit qui limitent le débit dans une tuyauterie à une certaine valeur;
- des soupapes de respiration sur un réservoir atmosphérique;
- des détendeurs.

## 4.2.3 Mesures actives préventives

Des mesures actives préventives sont des mesures qui fonctionnent lorsque le procédé sort des limites du fonctionnement normal à cause d'une ou plusieurs déviations. Elles agissent sur les chaînes d'évènements qui aboutissent finalement à une libération indésirée. C'est pourquoi nous considérons ces mesures comme préventives. Ces

mesures sont aussi appelées "actives" parce qu'elles initient une action spécifique en réaction à une situation déterminée.

Des mesures actives préventives sont des mesures sollicitées lorsque le contrôle normal a déclaré forfait et elles ont une fonction uniquement de sécurité, contrairement aux mesures de contrôle. Dans une installation bien conçue avec un système de contrôle adéquat, elles ne devraient être sollicitées que très rarement.

Les mesures actives préventives les plus courantes sont:

- les systèmes mécaniques de décharge de pression;
- les sécurités instrumentales;
- les actions correctives humaines.

Nous allons discuter plus en détails de ces mesures ci-dessous.

## **A. Systèmes mécaniques de décharge de pression**

Les systèmes mécaniques de décharge de pression considérés ici, sont des systèmes utilisant des soupapes de sécurité ou des disques de rupture. Dans sa forme la plus simple, un système de décharge de pression est constitué d'une seule soupape de sécurité ou d'un seul disque de rupture et éventuellement d'une tuyauterie d'entrée et d'une tuyauterie d'évacuation. La tuyauterie d'évacuation relie l'enveloppe à protéger avec la soupape de sécurité ou le disque de rupture et la tuyauterie d'évacuation évacue les substances libérées par la soupape de sécurité ou le disque de rupture, vers un endroit sûr ou système de recueil.

Un système de décharge de pression peut aussi être constitué d'un disque de rupture et une soupape de sécurité en série ou de deux disques de rupture en série. Une disposition en série d'un disque de rupture et d'une soupape de sécurité ou de deux disques de rupture doit toujours être considérée comme une seule mesure.

Dans un certain nombre de cas, il y a plusieurs soupapes de sécurité ou disques de rupture en parallèle sur un équipement. Si plusieurs soupapes de sécurité ou disques de sécurité sont nécessaires pour pouvoir évacuer le débit d'évacuation maximal, ces soupapes de sécurité ou disques de rupture font partie de la même mesure. On ne peut pas considérer ces soupapes de sécurité ou disques de rupture séparément comme mesure parce qu'elles ne suffisent pas par elles-mêmes pour limiter suffisamment la surpression.

Si plusieurs soupapes de sécurité ou disques de rupture sont installés, qui disposent chacun de la capacité d'évacuation suffisante, alors ces soupapes de sécurité et ces disques de rupture sont des mesures séparées et elles sont disposées en redondance.

## **B. Sécurités instrumentales**

Une sécurité instrumentale est constituée des éléments suivants:

- un ou plusieurs éléments de mesure;
- un organe décisionnel (typiquement un PLC);
- un ou plusieurs éléments finaux ou actionneurs (typiquement des vannes, des moteurs électriques).

Il est essentiellement important que l'on donne à cet ensemble, la sécurité instrumentale, un nom univoque. Ce nom va permettre de spécifier plus en détails la sécurité instrumentale, d'écrire des instructions de test, de reprendre la sécurité instrumentale dans un programme d'inspection et de réaliser de manière contrôlée la mise en service et hors service de sécurités.

La fonction de sécurité typique réalisée par une sécurité instrumentale, est prévenir qu'un paramètre déterminé ne dépasse une certaine valeur critique en exécutant une action. Une autre possibilité est d'empêcher une certaine action en fonction d'une condition déterminée, par exemple tenir une vanne fermée aussi longtemps qu'une autre vanne est en position ouverte.

### **C. Actions correctives humaines**

On entend par actions correctives humaines les interventions humaines qui remplissent exclusivement une fonction de sécurité. La plupart du temps, de telles interventions sont réalisées en réaction à une alarme. Dans de tels cas, une action corrective humaine est similaire à une sécurité instrumentale, avec la différence importante qu'avec une action corrective humaine, la décision d'intervenir est prise par une personne ou que des manipulations déterminées doivent être entreprises par une personne pour réaliser la mesure (par exemple appuyer sur un arrêt d'urgence ou fermer une vanne dans l'installation). Tout comme pour une sécurité instrumentale, il est important de donner un nom à l'ensemble qui remplit la fonction de sécurité et qui peut être considéré comme une mesure.

## **4.3 Identification des risques de déviations de procédé**

### **4.3.1 Généralités**

Le processus d'identification comprend les parties suivantes:

- l'identification des déviations de procédé pouvant mener à une libération;
- la détermination des effets des déviations de procédé;
- l'identification des libérations.

### **4.3.2 Identifier les déviations de procédé pouvant mener à une libération**

Dans la littérature, différents techniques sont décrites pour l'analyse des déviations du fonctionnement normal du procédé, telles que l'HAZOP, l'analyse par arbre de défaillances, le what if, l'utilisation de check-lists. Nous nous limiterons à une brève discussion de l'HAZOP, de l'analyse par arbre de défaillances et de PLANOP.

Quelque soit la méthode utilisée, le résultat du processus d'identification dépend de la connaissance et de la motivation des exécutants. C'est pourquoi il est important d'impliquer une équipe multidisciplinaire lors de l'analyse des déviations de procédé.

#### **A. HAZOP**

Dans une étude HAZOP (Hazard and Operability), on travaille avec un set fixe prédéfini de paramètres de procédé (pression, température, débit, ...). Chacun de ces paramètres est combiné avec une série de déviations possibles (trop, peu, inverse, ...). Pour chaque équipement analysé, on sélectionne les paramètres pertinents et on combine ceux-ci avec les déviations pertinentes. Pour chaque paramètre de procédé déviant, on détermine les causes et les conséquences.

La technique HAZOP est une méthode relativement simple qui permet d'analyser d'une manière très systématique toutes les déviations du fonctionnement normal.

La méthode a également une série de limitations. Il est important que les utilisateurs de la technique HAZOP soient au courant de ces dernières et en tiennent compte.

La technique HAZOP est destinée à être une technique de vérification afin de vérifier à la fin du processus de conception, lorsque les diagrammes de procédé et d'instrumentation sont quasi définitifs, s'il y a des fautes cachées dans la conception. Les mesures résultant d'une étude HAZOP sont typiquement des sécurités qui sont ajoutées à une conception qui reste fondamentalement inchangée: soupapes de sécurité, instrumentation complémentaire, instrumentations supplémentaires pour le personnel, ... . Des mesures se situant plus haut dans la hiérarchie de prévention (et qui rendent l'installation intrinsèquement plus sûre) résulteront beaucoup moins facilement d'une étude HAZOP, telles que choix d'une autre pression de conception d'un récipient, un autre choix de matériau, une conduite de procédé plus simple, etc. Lors de la conception de nouvelles installations ou de modifications importantes à des installations existantes, on ne devrait donc pas se limiter à la réalisation d'une étude HAZOP à la fin du parcours.

L'identification des risques d'accidents majeurs doit débiter à un stade précoce de la conception, lorsque l'on dispose encore de la liberté de choisir.

Une deuxième limitation de l'HAZOP concerne la documentation des risques des déviations de procédé. Les déviations de procédé sont traitées dans un ordre prédéfini dans les feuilles de travail de l'HAZOP. Certaines déviations donnant lieu à un même problème, par exemple une réaction indésirée, sont de cette manière dispersées tout au long des feuilles de travail et voire même le long des feuilles de travail de différents équipements. On pourrait résoudre ce problème en documentant séparément dans un arbre de défaillances des problèmes complexes avec plusieurs causes.

## **B. Analyse par arbre de défaillances**

Des arbres de défaillances peuvent aussi bien être utilisés pour une identification qualitative des risques que pour le calcul de la probabilité de l'évènement final. Nous nous limitons ici à l'analyse par arbre de défaillance comme technique pour examiner des déviations critiques de la conduite du procédé.

Contrairement à l'HAZOP, un arbre de défaillance démarre d'un évènement final indésiré. Dans l'HAZOP, on part d'une déviation et on se demande si celle-ci peut mener à un évènement final indésiré. La puissance d'une analyse par arbre de défaillances se situe dans le fait que l'on va d'abord essayer de formuler les causes de la manière la plus générale possible et ainsi on va délimiter des groupes de causes et alors, à mesure que l'on descend dans la structure arborescente, on va identifier des déviations plus concrètes pouvant donner lieu aux causes situées plus haut. Un avantage de l'arbre de défaillances est que pour des phénomènes avec plusieurs causes, il donne un meilleur aperçu.

Le terme "arbre de défaillances" peut porter à confusion. Une "défaillance" pourrait être strictement interprétée comme une déviation dans une ou plusieurs appareils ou comme une erreur d'un opérateur. Bien que de telles défaillances puissent être reprises dans l'arbre de défaillances, il est important d'aller en premier lieu à la recherche des déviations critiques de procédé. La défaillance d'un appareil et les erreurs humaines peuvent donner lieu à ces déviations, mais en tant que "cause", ces défaillances n'éclairent pas beaucoup sur les phénomènes pouvant donner lieu à une libération. Le terme de "analyse par arbre des causes" serait dans cette optique un meilleur terme.

Les analyses par arbre des causes sont très adaptées pour analyser des phénomènes plus complexes, tels que des réactions qui s'emballent. Pour des réacteurs, on peut d'ailleurs trouver dans la littérature des arbres de défaillances généraux, que l'on peut utiliser comme base de départ.

## **C. PLANOP**

PLANOP (Protection Layer Analysis and Optimization) est une technique développée au sein de la Division des risques chimiques. Dans PLANOP, on démarre d'une liste de phénomènes indésirés pouvant donner lieu à une libération. Pour les phénomènes pertinents pour un équipement, il faut ensuite identifier les causes à l'origine de ces phénomènes. La méthode aide cette recherche en parcourant des causes typiques.

Cette technique est finalement une combinaison d'une check-list avec une analyse par arbre des défaillances.

### 4.3.3 La détermination des effets des déviations de procédé

Comme déjà discuté précédemment, des déviations peuvent donner lieu à des libérations de différentes manières:

- par une dégradation de l'enveloppe
- par une percée dans les flux sortant
- par l'ouverture de l'installation.

Il n'est pas toujours évident de déterminer si une déviation conduit à une fuite ou à une rupture d'une enveloppe. Dans certains cas, il peut être nécessaire de déterminer quantitativement les conditions de pression et de température atteintes en conséquence de la déviation de procédé.

Si des dommages sont causés à l'enveloppe, ils peuvent prendre différentes formes: une fuite limitée (par ex. à un joint), un trou (par ex. suite à de la corrosion), une fissure, une rupture allant jusqu'à la défaillance catastrophique et explosive de l'enveloppe.

Il est important de décrire au mieux les dommages de l'enveloppe, également s'il n'est pas toujours possible de faire des prévisions précises. Dans cas, il est recommandé de se montrer conservatif.

Il est aussi possible que pour certains scénarios, aucun dommage n'est attendu, par exemple parce qu'il est supposé que l'enveloppe est résistante à la pression et à la température pouvant survenir en conséquence de ce scénario. Dans de tels cas, il est important que l'on documente correctement les raisons pour lesquelles les dommages n'auront pas lieu.

A ce sujet, quelques considérations ont été citées sur la résistance d'une enveloppe à la pression. Nous rappelons ici que pour une évaluation consistante des effets, il est recommandé de rédiger des directives claires au sein de l'entreprise. Les services d'inspection Seveso sont d'avis que pour un dépassement de 110% de la pression de conception d'une enveloppe, il faut tenir compte d'une perte de confinement.

Certains analystes sont tentés d'admettre une fuite limitée pour des surpressions limitées (c.à.d. des pressions supérieures à la pression de conception). Le raisonnement est que l'installation va d'abord fuir au point le plus faible, par exemple au niveau d'un joint. On ne peut cependant pas perdre de vue le fait qu'une petite fuite peut être insuffisante pour diminuer la surpression et qu'il est donc très plausible qu'une certaine ouverture va continuer à grandir aussi longtemps qu'une force mouvante suffisante est présente.

### 4.3.4 Identification de la libération

Pour estimer la gravité potentielle de la déviation de procédé, il faut déterminer en premier lieu quelles substances sont libérées, en quelles quantités et pendant quel laps de temps.

Pour savoir s'il est nécessaire de déterminer encore plus loin des événements, cela dépend de la manière dont le risque des déviations de procédé sera évalué. Nous reviendrons sur ce point plus loin.

Remarquons qu'un développement plus poussé des conséquences pour spécifier des mesures de limitation des dommages n'est pas à l'ordre du jour ici. Cela sera abordé lors

du traitement des différentes fonctions de sécurité de limitation des dommages de l'installation.



## **4.4 Evaluation des risques et spécification des mesures**

### **4.4.1 Principes généraux**

Pour une déviation de procédé déterminée donnant lieu à une charge plus grande que la normale, il existe deux stratégies de sécurité possibles:

- ou bien on rend l'enveloppe intrinsèquement sûre, en la rendant résistante à la charge anormale;
- ou bien on prend des mesures pour prévenir l'apparition de la charge anormale à l'aide de mesures actives préventives.

Le choix de rendre l'enveloppe intrinsèquement sûre est préférable, mais n'est pas toujours réalisable techniquement ou économiquement.

Des déviations de procédé donnant lieu à une percée ou à l'ouverture accidentelle de l'installation sont typiquement maîtrisées avec des mesures de contrôle et des mesures actives préventives.

### **4.4.2 Résistance de l'enveloppe**

Lorsque l'on rend une enveloppe résistante à une certaine charge pouvant survenir lors d'une déviation de procédé, par exemple une pression élevée ou une faible température, alors on peut partir du fait que la probabilité de libération y afférant est suffisamment restreinte lorsque l'on satisfait à trois conditions.

La première condition est que les conditions de fonctionnement maximales acceptables pour lesquelles l'appareil est conçu, ne sont pas dépassées.

Deuxièmement, l'appareil doit être conçu, construit et testé conformément à la réglementation courante (telle que la directive équipement sous pression) et aux standards de conception généralement approuvés. Cette condition est bien entendu valable pour toutes les enveloppes.

Troisièmement, il faut assurer que l'enveloppe continue à garder la résistance nécessaire pendant son utilisation. Pour ce faire, l'attaque, l'usure et la dégradation de l'enveloppe doivent être suivies. Cela fait l'objet de la fonction de sécurité "Maîtrise de la dégradation des enveloppes" dont nous discuterons dans le prochain chapitre.

### **4.4.3 Mesures actives préventives**

#### **A. Préférence pour des mesures fonctionnant automatiquement**

Si l'on choisit des mesures actives préventives pour maîtriser les risques de déviations de procédé, alors la préférence va pour des mesures automatiques, telles que des sécurités instrumentales et des systèmes mécaniques de décharge de pression, par rapport à des mesures nécessitant une intervention humaine.

Les raisons guidant cette préférence sont que des mesures automatiques sont intrinsèquement plus fiables que des interventions humaines. De plus, avec des interventions humaines, se pose en plus souvent le problème d'indépendance dont nous allons discuter ci-dessous.

La préférence pour des mesures automatiques est aussi reprise dans la loi sur le bien-être.

La limitation des risques d'une blessure grave en prenant des mesures matérielles en priorité par rapport à toute autre mesure, est un principe général de prévention formulé à l'article 5 de la loi.

## **B. Indépendance**

### ***Principe général***

Lors du choix de mesures préventives, il est important d'assurer réciproquement l'indépendance des mesures, ainsi que l'indépendance des causes de la déviation de procédé que l'on veut maîtriser.

Deux mesures sont indépendantes lorsqu'aucune défaillance commune ne peut survenir, pouvant simultanément évincer les deux mesures.

### ***Sécurités instrumentales***

Si la sécurité instrumentale peut être activée en conséquence de la défaillance d'un élément de mesure faisant partie d'une boucle de régulation, alors cet élément de mesure ne peut pas faire partie de cette sécurité instrumentale. Une défaillance de cette mesure pourrait de plus occasionner la situation dangereuse, vis-à-vis de laquelle la sécurité doit intervenir et en même temps empêcher le fonctionnement correct de cette sécurité.

Les deux mesures ne doivent pas seulement être différentes, il ne serait pas non plus considéré comme bonne pratique si les deux mesures seraient placées sur le même piquage. Lors d'une obstruction de ce piquage, les deux mesures deviennent défectueuses.

Si la sécurité instrumentale doit offrir une protection contre une situation pouvant être occasionnée par une faute dans un organe de décision (par ex. un système DCS), alors ce même organe de décision ne peut en principe pas faire partie de la sécurité. En pratique, cela signifie que l'on utilise des organes de décision séparés pour le contrôle et la sécurité.

Certaines entreprises intègrent quand même des systèmes de contrôle et des systèmes de sécurité, malgré le fait que cela va à l'encontre de nombreux standards et recommandations sur le sujet (y compris les IEC61511 et IEC61508). De telles entreprises doivent alors elles-mêmes pouvoir démontrer (à l'aide d'une enquête approfondie) que les probabilités de modes communs de défaillance dans les systèmes de contrôle et de sécurité ont été suffisamment restreintes.

L'indépendance de la sécurité instrumentale doit également être respectée au niveau des éléments finaux. Si la sécurité instrumentale doit fournir une protection contre une situation pouvant être causée par une faute dans un élément final (par ex. une vanne qui se bloque dans une position déterminée), alors ce même élément de mesure ne peut pas faire partie de la sécurité.

## ***Soupapes de sécurité***

Les problèmes d'indépendance se présentent également avec les soupapes de sécurité. Deux soupapes de sécurité sur le même réservoir sont exposées aux mêmes conditions de procédé et sont donc confrontées dans la même mesure à la corrosion, à l'encrassement, à l'obstruction ou au collage de la soupape. La probabilité que les deux soupapes ne fonctionnent de ce fait plus correctement en même temps (ne s'ouvrent pas ou à une pression trop élevée), n'est donc pas négligeable. Cette probabilité est encore plus grande lorsque les soupapes de sécurité partagent une tuyauterie d'alimentation commune.

Des soupapes de sécurité peuvent encore avoir d'autres causes de défaillance communes. Des causes liées aux soupapes de sécurité sont par exemple:

- l'entretien (telles qu'un mauvais réglage);
- lors de la manipulation (telles qu'un transport imprudent, sans précaution, à cause duquel les réglages sont modifiés);
- fautes dans le calcul (telles qu'une estimation incorrecte du débit à éliminer ou un calcul erroné de la surface de passage nécessaire).

## ***Manipulations correctives humaines***

Lors d'actions correctives humaines, on compte sur un opérateur pour intervenir dans le cas d'une déviation de procédé. Si cette déviation peut être la conséquence d'une manipulation de contrôle erronée de ce même opérateur, alors la manipulation corrective humaine n'est pas une couche de protection indépendante pour cette déviation de procédé.

De plus les considérations sur l'indépendance des mesures et des éléments finaux formulées pour des sécurités instrumentales sont aussi valables pour les mesures utilisées pour des alarmes et pour les éléments finaux devant être manipulés par l'opérateur.

## **C. Diversification**

Prévoir différentes mesures utilisant une technologie différente évite l'occurrence de défaillances communes, un problème déjà abordé ci-dessus.

Un bon exemple de diversification est la protection d'un risque de surpression à l'aide d'une sécurité instrumentale et d'un système mécanique de sécurité contre la surpression.

## **D. Réduction suffisante du risque**

### ***Fiabilités et facteurs de réduction du risque***

Des mesures actives préventives sont des mesures sollicitées lorsque le contrôle normal a déclaré forfait et que le procédé dérive donc en dehors des paramètres de fonctionnement normaux. Des mesures actives préventives ont une fonction exclusivement de sécurité et ne devraient être que rarement sollicitées, dans une installation bien conçue.

La fiabilité de telles mesures de sécurité est aussi exprimée en termes de probabilité de défaillance à la demande. Le terme anglais pour ceci est "probability of failure on demand", raccourci en "PFD". Une PFD de 0,1 signifie que la probabilité que la mesure ne fonctionne pas lorsqu'elle est sollicitée est de 1 sur 10. En moyenne, la sécurité ne fonctionnera pas 1 fois par 10 fois qu'elle sera sollicitée. L'inverse de la PFD est le facteur

de réduction du risque. Une mesure avec une PFD de 0,01 va réduire l'apparition de l'évènement non désiré d'un facteur 100.

Dans l'exemple qui suit, nous allons illustrer la relation entre d'une part la fiabilité des mesures et d'autre part la probabilité d'avoir une libération.

Supposons un réacteur dans lequel suite à un mauvais débit d'alimentation, la pression peut monter jusqu'à une valeur pour laquelle le réacteur va se rompre. Supposons que la probabilité d'apparition d'un mauvais débit d'alimentation soit estimée à une fois tous les 10 ans (en conséquence d'une défaillance dans la boucle de régulation pour le débit). Cela signifie donc qu'une fois tous les 10 ans, la pression va augmenter en conséquence d'un mauvais débit d'alimentation. Sans mesure supplémentaire, on pourrait s'attendre une fois tous les 10 ans à la défaillance du réacteur en conséquence d'un mauvais débit d'alimentation. Supposons que l'on ait prévu une soupape de sécurité suffisamment dimensionnée pour limiter la surpression à des valeurs acceptables. Supposons ensuite que la PFD de la soupape de sécurité ait été estimée à 0,01 (facteur de réduction du risque de 100). Cela veut dire que si la soupape est sollicitée 100 fois, en moyenne elle ne fonctionnera pas une fois (bloquée, mal réglée, isolée du procédé par une vanne manuelle, ...). La probabilité d'une défaillance du réacteur en conséquence d'un mauvais débit d'alimentation a été réduit par l'ajout de la soupape de sécurité d'un facteur 100, jusqu'à une fois tous les 1000 ans.

Les facteurs de réduction du risque de mesures indépendantes qui préviennent un même évènement (en matière d'approche) peuvent être combinés.

Supposons que dans l'exemple du réacteur, l'on prévoit une mesure supplémentaire pour prévenir la surpression due à un mauvais débit d'alimentation: une sécurité instrumentale qui lors d'un débit d'alimentation trop élevé coupe l'alimentation du réacteur. Supposons que cette sécurité a une valeur PFD de 0,05 (facteur de réduction du risque de 20). Pour arriver jusqu'à la rupture du réacteur suite à un débit d'alimentation trop élevé, les évènements suivants sont maintenant nécessaires:

- défaillance du contrôle de débit (1 fois tous les 10 ans);
- défaillance de la sécurité instrumentale (1 fois toutes les 20 sollicitations);
- défaillance de la soupape de sécurité (1 fois toutes les 100 sollicitations).

Le régulateur de débit va défaillir une fois tous les 10 ans, avec quoi la sécurité instrumentale sera sollicitée. La probabilité que celle-ci défaille est de 0,05. En moyenne, une fois tous les 200 ans, le débit d'alimentation sera trop élevé à cause d'une défaillance du régulateur de débit et de la sécurité instrumentale défaillante et la soupape de sécurité sera alors sollicitée. La probabilité que cette soupape de sécurité ne fonctionne pas non plus est de 1 sur 100. La probabilité d'une rupture du réacteur à cause d'un régulateur de débit défaillant est ainsi ramenée à 1 sur 20.000 ans (ou bien une probabilité de 0,00005 par an). La puissance commune de réduction du risque des 2 mesures actives préventives, la sécurité instrumentale et la soupape de sécurité, s'élève donc à 20 (facteur de réduction du risque de la sécurité instrumentale) fois 100 (facteur de réduction du risque de la soupape de sécurité), donc 2000.

### ***La fiabilité de soupapes de sécurité***

La probabilité de défaillance de soupapes de sécurité (et de disques de rupture) est généralement considérée plutôt comme une donnée que comme une variable qui peut être manipulée par la conception et par la fréquence d'inspection au sein de limites déterminées (ce qui est par contre par exemple le cas avec des sécurités instrumentales).

Pour les PFD des soupapes de sécurité, on utilise des valeurs très divergentes. Dans "Layer of protection analysis – simplified process risk assessment" (une publication du

CCPS), on admet que les valeurs dans la littérature et utilisées dans l'industrie varient entre  $10^{-1}$  et  $10^{-5}$ .

L'emploi de valeurs de PFD déjà trop optimistes doit avoir lieu avec de très grandes précautions. Il ne faut pas seulement tenir compte avec un mauvais fonctionnement possible de la décharge de pression mais aussi avec la possibilité que la décharge de pression ait été mal dimensionnée. Des erreurs lors du dimensionnement peuvent être la conséquence non seulement de fautes de calcul, mais aussi des approximations dans les modèles mathématiques utilisés et dans les hypothèses faites lors du calcul des débits à évacuer.

Des valeurs conservatives pour la fiabilité de soupapes de sécurité et de disques de rupture, qui sont utilisées par différentes entreprises, sont de l'ordre de grandeur suivant:

- 1/100 pour des décharges de pression dans un environnement propre
- 1/10 pour des décharges de pression dans un environnement sale.

La fiabilité d'une soupape de sécurité peut être déterminée sur base de tests appelés "tests pop", que l'on réalise une fois que la soupape a été démontée hors de l'installation et avant que la soupape de sécurité ne subisse un entretien. Les valeurs pour la fiabilité que l'on adopte dans l'évaluation des risques, peuvent donc être comparées aux résultats empiriques des "tests pop".

Dans le cas où un réservoir est protégé par plusieurs soupapes de sécurité (redondantes), on devrait tenir compte avec les modes communs de défaillance. A cause de la présence de fautes communes, une multiplication des facteurs de réduction donnerait une valeur trop optimiste. Dans les calculs de fiabilité, la dépendance réciproque de mesures peut être prise en compte via ce que l'on appelle le facteur  $\beta$ . Le facteur  $\beta$  est une mesure quantitative pour la dépendance qui est utilisée dans les formules pour le calcul de la fiabilité de sécurités instrumentales. Ces formules peuvent aussi être appliquées pour calculer la probabilité de défaillance de connexions parallèles de soupapes de sécurité ou de disques de rupture. Pour des soupapes qui sont placées en parallèle, le facteur  $\beta$  peut s'élever jusqu'à 20%.

Dans le cas de 2 soupapes de sécurité redondantes, il faut utiliser les formules pour une disposition "1 out of 2". Mais d'une manière générale, on peut affirmer que: si n soupapes ont été placées alors que m sont nécessaires pour pouvoir délivrer le débit nécessaire, on doit utiliser les formules d'une configuration "m out of n".

### ***La fiabilité de sécurités instrumentales***

A l'opposé d'autres mesures, on maîtrise assez bien la fiabilité de sécurités instrumentales. La fiabilité de sécurités instrumentales est principalement déterminée par: l'architecture, la probabilité de défaillance des composants utilisés (instruments de mesure, vannes, PLC, ...), le degré d'autodiagnostic, l'intervalle d'inspection. Sur base de ces éléments, on peut calculer la PFD d'une sécurité instrumentale. Des valeurs pour la PFD de 0,001 et plus petites sont possibles. Naturellement le coût et la complexité d'une sécurité instrumentale augmentent avec la fiabilité.

### ***La fiabilité d'actions correctives humaines***

Le tableau ci-dessous donne quelques valeurs indicatives pour la probabilité de défaillance d'une action simple bien décrite en fonction de quelques conditions (repris de "Layer Of Protection Analysis – Simplified Process Risk Assessment", une publication du CCPS).

Tableau 4.1 Probabilités de défaillance d'une action simple

Conditions	Valeurs typique de PFD dans la littérature
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indication claire et fiable qu'une action est exigée</li> <li>• 10 minutes pour réagir et pour exécuter l'action</li> <li>• Instructions, formation et entraînement adéquats</li> </ul>	1 à 0,1
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réaction à une alarme du système de contrôle</li> <li>• 40 minutes pour réagir et pour exécuter l'action</li> <li>• Instructions, formation et entraînement adéquats</li> </ul>	0,1
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indication claire et fiable qu'une action est exigée</li> <li>• 40 minutes pour réagir et pour exécuter l'action</li> <li>• Instructions, formation et entraînement adéquats</li> </ul>	0,1 à 0,01

### ***Assurer une réduction suffisante du risque***

Pour ce faire, nous avons démontré que la probabilité d'avoir une libération indésirée peut être plus ou moins réduite en fonction du nombre de mesures indépendantes et efficaces prises et en fonction de la fiabilité individuelle des mesures concernées. Cette fiabilité peut fortement varier en fonction du type de mesure. La fiabilité de sécurités instrumentales est celle que l'on contrôle le mieux et nous pouvons les estimer numériquement sur base de données sur la conception et la fréquence d'inspection.

La mesure selon laquelle la probabilité de libération en conséquence d'une déviation de procédé déterminée est réduite par des mesures actives, ne peut pas être laissée au hasard, mais doit être le résultat d'une stratégie bien déterminée qui fournit une réduction du risque suffisante et consistante, en rapport avec la gravité de la libération à éviter.

Il y a différentes manières possibles pour aborder le problème:

- la détermination quantitative de la réduction du risque nécessaire;
- l'utilisation de critères qualitatifs de décision;
- travailler de manière clairement conservatrice.

On peut déterminer la réduction du risque nécessaire pour une déviation de procédé déterminée. Cela peut se faire à l'aide de la technique "LOPA" ("Layers of Protection Analysis"). Cela suppose que l'on définisse une fréquence indicative pour l'apparition de la libération indésirée en question (ou pour un seul ou plusieurs des événements qui s'en suivent) comme conséquence de la déviation. Sur base de la probabilité d'apparition de la déviation de procédé, on peut alors déterminer quelle réduction du risque est nécessaire pour ne pas dépasser la probabilité pour l'évènement final. Nous traiterons en détails cette approche dans la prochaine section. Le grand avantage de LOPA est que tous les éléments de l'évaluation sont explicitement nommés et quantifiés. Cela donne lieu à une évaluation claire, transparente et bien documentée.

Une deuxième approche consiste à classer le risque d'une déviation de procédé dans une classe de risque (sur base de la gravité, éventuellement en combinaison avec la probabilité d'apparition et d'autres facteurs). La classe de risque obtenue donne alors une série de critères qualitatifs auxquels les sécurités doivent satisfaire. Ces critères doivent être suffisamment précis pour éviter de grandes variations dans le niveau de sécurité. Cette méthode était surtout utilisée avant que la fiabilité de sécurités instrumentales ne soit déterminée numériquement. Les classes de risque étaient couplées à des classes de

sécurité déterminées, qui imposaient certaines architectures-types et des fréquences d'inspection standards aux sécurités instrumentales. Avec ces méthodes, on atteignait dans certains cas des résultats très fortement conservatifs, mais d'un autre côté, la transparence et la clarté propres à une analyse LOPA manquent à la classification en classes de risque.

Un des inconvénients de la matrice de risques est que l'on peut avoir tendance à classer une déviation déterminée dans une classe de risque, sans que l'on documente clairement quel évènement final a été considéré pour déterminer la gravité, de quels autres mesures l'on a tenu compte ou non et sans que le classement dans une classe de probabilité déterminée ne soit motivé.

Pour finir, une entreprise peut choisir de travailler de manière clairement conservative. Cette approche peut être une solution pour des entreprises qui disposent de peu de sécurités instrumentales et où les risques sont relativement simples. Pensez à la situation d'une entreprise avec un seul ou plusieurs réservoirs de stockage identiques, équipés d'une sécurité de surremplissage. Pour de telles entreprises, les moyens nécessaires pour le développement de critères de décision (qualitatifs ou quantitatifs) ne peuvent pas être proportionnels au nombre d'applications de ces critères. De telles entreprises peuvent au mieux utiliser ses moyens pour le placement de sécurités avec une fiabilité élevée.

## 4.4.4 LOPA

### A. Principes de base de LOPA

LOPA est l'acronyme de "Layer of Protection Analysis". On trouve une bonne introduction à cette technique dans le livre "Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment", une publication du Center for Chemical Process Safety.

Lors d'une évaluation à l'aide de LOPA, la probabilité d'un évènement déterminé (appelé l'évènement final) est calculée et comparée avec une probabilité présupposé comme acceptable, appelé plus loin la fréquence indicative. Si la probabilité calculée est plus grande que la fréquence indicative, des mesures complémentaires doivent être prises ou la fiabilité des mesures déjà prévues doit être augmentée afin que la nouvelle probabilité calculée soit plus petite ou égale à la fréquence indicative.

Le calcul commence avec la probabilité d'occurrence de l'évènement de départ. Cette dernière est exprimée en nombre de fois par an que cet évènement est estimé se produire. Si l'évènement initial est la conséquence directe de la défaillance d'une mesure de contrôle, alors la probabilité d'occurrence de l'évènement initial est assimilée à la probabilité de défaillance de la mesure de contrôle.

Ensuite on multiplie cette fréquence initiale par les fiabilités des mesures préventives actives (exprimées en tant que PFD). Le résultat est la probabilité que l'évènement final se produise. Pour être complet, nous mentionnons que dans certains cas, il peut être nécessaire de tenir compte de la présence de certaines conditions qui rendent possible l'occurrence de l'évènement initial (ou un évènement intermédiaire). C'est ce que l'on appelle les "enabling conditions". Nous renvoyons à la littérature pour plus de détails.

Dans l'exemple du réacteur qui a été donné auparavant pour montrer le problème de la réduction du risque, c'est en fait une analyse LOPA qui a été réalisée.

On peut seulement tenir compte d'une mesure pour la réduction de la probabilité à condition que la mesure soit aussi effectivement capable de prévenir l'évènement final. Si par exemple, on compte sur une soupape de sécurité pour éviter la défaillance d'un

réservoir par surpression, c'est uniquement possible pour les causes de surpression pour lesquelles on peut démontrer à l'aide de calculs que la soupape de sécurité a été dimensionnée correctement pour limiter la surpression à des valeurs acceptables. Pour certaines actions réalisées par des sécurités instrumentales, il n'est pas si évident qu'elles soient réalisées suffisamment à temps et que l'action va également réussir à prévenir l'évènement indésirable. On peut dire la même chose sur les actions correctives humaines.

Une deuxième condition pour tenir compte du facteur de réduction du risque d'une mesure est que la mesure ne peut pas être évincée par la cause du problème. Considérons l'exemple d'un réacteur où suite à l'arrêt du mélange, une production excessive de chaleur peut exister. Comme mesure, on veut prévoir une sécurité instrumentale qui lorsque l'on atteint une température ou une pression élevée, ajoute un inhibiteur de réaction dans le réacteur ("killing agent") pour arrêter la réaction. Il faut alors se poser la question de savoir si lors de l'arrêt de l'agitation, l'inhibiteur de réaction peut alors être suffisamment diffusé dans la masse de produits pour arrêter efficacement la réaction.

La combinaison de différentes mesures (et donc la multiplication des facteurs de réduction du risque) peut uniquement se faire lorsque les mesures concernées sont indépendantes entre elles. Deux mesures sont indépendantes lorsqu'aucune faute commune ne peut avoir lieu, pouvant en même temps évincer les deux mesures.

Le calcul de la fréquence et le principe de probabilités acceptables sont des notions que LOPA a en commun avec les méthodes classiques d'évaluation quantitative du risque (QRA). LOPA réalise une simplification très importante, à savoir en calculant exclusivement des scénarios avec une simple cause. On calcule donc la probabilité qu'un évènement final ait lieu en conséquence d'une seule cause unique, appelée l'évènement initial.

En se limitant à des scénarios simples, LOPA contourne les inconvénients de l'analyse quantitative par arbre de défaillances. L'établissement d'un arbre de défaillances correct et complet (adéquat pour l'exécution de calculs) est très difficile et prend beaucoup de temps. De tels arbres de défaillances deviennent aussi rapidement très grands et confus. Le calcul de la probabilité de l'évènement de tête est un exercice mathématique lourd, en particulier lorsque différentes causes et mesures dans l'arbre sont identiques ou dépendantes.

## **B. Choix de l'évènement final**

Lors de l'évaluation des risques, on estime souvent la gravité et probabilité des dommages finaux (aux personnes, à l'environnement, les dégâts économiques). Dans LOPA, il est également possible de choisir les dommages finaux en tant qu'évènement final.

Il y a cependant une série de bonnes raisons de réaliser l'évaluation au niveau de la libération plutôt qu'au niveau des cas de dommages finaux qui peuvent en être la conséquence.

### ***Eviter la complexité des évènements après la libération***

Pour calculer un scénario simple, tous les maillons entre l'évènement initial et l'évènement final doivent être connus. Il est évident que la chaîne allant d'un évènement initial à une libération est plus courte que la chaîne allant de l'évènement initial au dommage final. Entre une libération et le dommage final, il faut cependant identifier toute une série d'évènements intermédiaires. Par exemple, avant que la libération d'une



substance inflammable ne donne lieu à des victimes, il faut d'abord qu'une atmosphère explosive soit formée, que cette atmosphère explosive trouve une source d'ignition, que des personnes soient présentes et qu'ils soient suffisamment exposés aux flammes ou à l'onde de choc en conséquence de l'explosion. Si l'on veut déterminer la probabilité de l'évènement final "victime mortelle", alors il faut déterminer la probabilité de tous ces évènements intermédiaires. Cela rend le travail d'évaluation quelque peu plus lourd. Il ne faut pas uniquement identifier tous les chaînons intermédiaires, on doit également pouvoir aussi leur attribuer des probabilités sensées. Les phénomènes se déroulant après la libération sont moins contrôlés et plus capricieux que des phénomènes se déroulant dans l'installation (avant la libération donc). Il est donc beaucoup plus difficile d'attribuer des probabilités sensées à des évènements après la libération qu'à des évènements avant la libération.

De plus, on doit également tenir compte des mesures jouant sur ces évènements, comme par exemple l'utilisation de matériel sûr du point de vue explosion, des systèmes d'extinction, des possibilités d'évacuation, etc. La probabilité et l'efficacité de telles mesures de limitation des dommages sont beaucoup plus difficile à estimer que pour des mesures essayant de prévenir une libération. Chaque mesure de limitation de dommage assure en plus une division dans l'arbre des conséquences après la libération. On doit donc tenir compte aussi bien du fonctionnement correct que du mauvais ou du non fonctionnement de la mesure. Dans les 2 cas, il y aura donc des dommages.

Pour chaque libération, il existe un grand nombre de cas de dommages finaux possibles en fonction de l'occurrence ou non de certains phénomènes et du fonctionnement ou non de mesures de limitation des dommages. De plus, on peut différencier les cas de dommages en fonction de la nature du porteur de dommage (homme, environnement, économie). Au lieu d'évaluer séparément tous ces cas de dommages, on peut se limiter à l'évaluation de la libération. En attribuant une valeur indicative pour la libération, on peut tenir compte de toutes les conséquences potentielles pour l'homme, l'environnement et l'économie.

### ***Eviter les évaluations de la prévention versus la limitation des dommages***

Il n'y a cependant pas que des problèmes pratiques qui sont liés à l'évaluation des cas de dommages finaux. Des problèmes se posent également avec l'utilisation des résultats.

La prise en compte des mesures de limitation des dommages dans les calculs peut mener à d'étranges conclusions. Supposons que pour toutes les causes initiales, on puisse rester en dessous de la fréquence indicative de l'évènement final à l'aide de mesures préventives. La probabilité calculée de la libération est dans ce cas donc déjà plus petite que la fréquence indicative du dommage final. On pourrait donc conclure que des mesures de limitation des dommages ne sont finalement pas nécessaires. En pratique, des mesures de limitation des dommages (telles que des encuvements, des systèmes d'extinction, des voies d'évacuation, des dispositifs de premiers secours, etc.) sont cependant toujours prévues, quelle que soit la probabilité de la libération. La présence de telles mesures est issue de l'application de codes de bonne pratique et de prescriptions réglementaires spécifiques.

Le raisonnement inverse peut également être mené. En prenant des mesures de limitation des dommages supplémentaires, on peut prendre moins de mesures préventives pour atteindre la même fréquence finale. On pourrait alors conclure que l'occurrence de libérations peut être mieux acceptée lorsqu'il y a plus de mesures de limitation des dommages présentes. Cette conclusion est aussi en contradiction avec la bonne pratique dans l'industrie des procédés. Généralement les entreprises fournissant de grands efforts sur le plan de la limitation des dommages, font également de gros efforts sur le plan de la prévention.

Dans la pratique, LOPA est utilisé pour déterminer les fiabilités souhaitées des systèmes de sécurité préventifs. Pour atteindre cet objectif, il peut être suffisant de déterminer les probabilités de la libération et il n'est pas nécessaire de tenir compte des événements ultérieurs sur lesquels les systèmes de sécurité préventifs n'ont quand même pas d'impact.

### ***Eviter des fréquences acceptables pour des morts***

Un dernier argument contre l'usage des cas de dommages comme événement final est lié à l'attribution de fréquences indicatives. Il n'est pas simple, aussi bien d'un point de vue scientifique que du point de vue de la société, d'attribuer des fréquences acceptables à la perte de vies humaines. A cela s'ajoute encore le fait que les fréquences calculées d'un mort n'ont en fait presque pas ou aucune valeur réellement établie. Cela est du aussi bien aux grandes marges d'erreur sur les chiffres utilisés (certainement pour les événements et mesures se situant après la libération), qu'au principe des scénarios simples. Comme déjà mentionné à ce sujet, les probabilités calculées dans LOPA doivent finalement être considérées comme des indications relatives de la qualité des mesures prises pour prévenir l'évènement final. Il est cependant difficile de donner une signification relative et aucune signification absolue à des fréquences indicatives acceptables pour des victimes humaines.

## **C. Fréquences indicatives pour des libérations indésirées**

### ***La valeur relative des fréquences calculées par LOPA***

Lors de la fixation de fréquences indicatives, il est important de comprendre la valeur relative des fréquences calculées. Les fréquences obtenues sont une mesure quantitative relative pour le niveau de sécurité. Ces valeurs relatives permettent de comparer des scénarios entre eux de manière objective. Elles donnent aussi des valeurs indicatives quantitatives pour les fiabilités des mesures actives préventives qui peuvent être utilisées lors de leur conception.

Il y a deux raisons de donner une signification relative aux fréquences calculées. Tout d'abord les fréquences de défaillance utilisées pour déterminer la fréquence de l'évènement de départ ne sont que des estimations grossières. Pour travailler de manière consistante, on utilise souvent les mêmes fréquences de défaillance pour le même type de fautes (par exemple pour la défaillance d'une boucle de régulation, ou pour une erreur humaine). Les fiabilités des mesures actives préventives ne sont aussi pas plus que des estimations, même dans le cas où l'on dispose pour des soupapes de sécurité de données statistiques et dans le cas où l'on dispose de calculs pour des sécurités instrumentales. Une deuxième raison est qu'un événement final (par exemple la déchirure d'un réacteur) peut être l'évènement final de différents scénarios. Pour connaître la probabilité réelle de la défaillance d'un réacteur, il faut combiner tous les scénarios, ce qui peut devenir un exercice mathématique difficile. Ce n'est clairement pas l'objectif de LOPA. De tels calculs font l'objet des techniques QRA.

### ***Comparaison avec des cas de référence***

Comme les fréquences calculées sont une mesure relative de la qualité de la sécurité, il faut aussi voir les fréquences indicatives comme une mesure relative, quantitative pour le niveau souhaité de sécurité. Ce niveau souhaité de sécurité peut être déterminé par du benchmarking. On peut déterminer à l'aide des fréquences de défaillances postulées pour des événements initiaux, des soupapes de sécurité, des disques de rupture et des manipulations correctives humaines, la fréquence des événements finaux pour des équipements bien sécurisés que l'on considère comme des références. On peut alors

utiliser les valeurs obtenues comme fréquences indicatives dans toutes sortes de situations similaires.

Les cas de référence que l'on choisit, devraient être sécurisés en conformité avec l'état actuel de la technique et avec les pratiques courantes actuelles sur le plan de la sécurité des procédés. Pour illustrer ceci, réalisons une analyse assez rudimentaire. Comme fréquence de défaillance de systèmes de contrôle, on prend couramment 0,1 par an. La plupart des réservoirs sous pression sont équipés de soupapes de sécurité auxquelles on attribue typiquement une PFD de 0,01 (dans le cas d'un "clean service", sinon la PFD monte typiquement à 0,1). Souvent, ces réservoirs sous pression sont équipés d'une sécurité instrumentale supplémentaire avec une PFD de 0,1 à 0,01, en fonction de la quantité de substances dangereuses qui peuvent être libérées. Lorsque nous combinons ces valeurs, nous arrivons à des valeurs typiques de  $10^{-4}$  à  $10^{-5}$  par an pour des scénarios avec lesquels se produit une perte de confinement dans des réservoirs sous pression. De tels niveaux de sécurité sont une cible atteignable dans des installations de procédé modernes.

Il est important de voir que les fréquences obtenues, dans ce cas de  $10^{-4}$  à  $10^{-5}$  par an, dépendent des hypothèses au sujet de la fiabilité des systèmes de contrôle et des soupapes de sécurité. On ne peut donc nullement prendre ces fréquences comme des chiffres de référence absolus. De plus, aucun lien n'a été tiré entre la fréquence indicative et les quantités de substances libérées.

Pour les scénarios où des gaz combustibles liquéfiés peuvent être libérés, une méthode de travail intéressante consiste à prendre comme fréquence indicative  $10^{-a}$  où  $a$  est égal au logarithme base 10 de la quantité totale de gaz combustible liquéfié pouvant être libérée. Pour 30 tonnes de gaz combustible liquéfié, cela donne une fréquence indicative de  $10^{-4,5}$ .

# 5 Maîtrise de la dégradation des enveloppes

## **5.1 Risques de dégradation de l'enveloppe**

### **5.1.1 La fonction de l'enveloppe**

Dans le chapitre précédent, il a été expliqué que de l'enveloppe doit offrir une résistance suffisante contre les influences qui agissent sur elle pendant le fonctionnement normal de l'installation. De plus, on peut aussi choisir dans certains cas de rendre l'enveloppe résistante contre des influences (telles que pression et température) qui se produisent lors de déviations de procédé.

La force et la résistance de l'enveloppe sont en premier lieu assurées grâce à une conception experte et à une construction selon les règles de l'art. La résistance initiale de l'enveloppe peut toutefois diminuer au cours du temps sous l'influence de toute sorte de phénomènes de dégradation. Cela peut évidemment conduire à une libération, même si le procédé se trouve dans sa fenêtre opérationnelle normale.

Dans de nombreux cas, il n'est pas possible d'offrir à l'enveloppe une résistance parfaite contre tous les phénomènes de dégradation auxquels l'enveloppe est exposée et l'attaque de l'enveloppe doit être considérée comme un phénomène normal et attendu.

Cela est évidemment uniquement acceptable si l'attaque de l'enveloppe a lieu suffisamment lentement, ainsi l'attaque peut être suivie et l'enveloppe peut être changée à temps ou réparée avant que l'attaque ne conduise à une libération.

### **5.1.2 Mécanismes de dégradation**

Nous explicitons ici les principaux phénomènes qui peuvent conduire à une attaque de l'enveloppe. L'objectif n'est pas ici de fournir un aperçu complet.

#### **A. Corrosion**

Il existe un grand nombre de types de corrosion. Une description complète dépasserait largement le cadre de cette publication.

Il n'est pas toujours simple de constater de manière univoque un certain phénomène de corrosion qui se présente dans la pratique. Dans certains cas, différents phénomènes de corrosion peuvent intervenir simultanément.

Les paramètres qui peuvent être déterminants pour l'occurrence de certains phénomènes de corrosion sont :

- la nature des substances et les concentrations auxquelles elles sont présentes;
- la température;
- la présence de tensions;
- les matériaux de construction utilisés.

L'attaque par corrosion peut prendre différentes formes:

- la diminution de l'épaisseur de la paroi;
- formation de piqûres;
- formation de fissure, aussi bien en surface que sous la surface métallique;
- la formation de microfissures et/ou de micro-trous sous la surface métallique;
- formation de bulle.

La connaissance du mécanisme de dommage est importante pour le choix d'une technique d'inspection adaptée.

## **B. Agression par l'hydrogène**

L'hydrogène peut conduire à deux types d'attaque: formation de bulles (hydrogen blistering) et fragilisation (hydrogen embrittlement).

La formation de bulles apparaît quand un atome d'hydrogène diffuse dans l'acier. Dans les micro cavités de l'acier, l'hydrogène moléculaire peut se former, ce qui peut conduire à des pressions de plusieurs centaines de bars. De la fissuration interne peut dès lors apparaître.

## **C. Erosion**

L'érosion dans les installations de procédé est une forme d'usure qui est causée par l'effet abrasif de courants gazeux et/ou liquides. L'effet abrasif peut être dû au liquide ou au gaz lui-même (par exemple le chlore) ou peut être causé par la présence de particules. La cavitation est une forme particulière d'érosion où les bulles de gaz dans le liquide remplissent le rôle de particules abrasives.

L'érosion est aussi un phénomène qui peut arriver en combinaison avec la corrosion. Nous parlons d'érosion-corrosion quand la couche métallique oxydée est enlevée par érosion et que de nouvelles couches métalliques sont alors mises à nu pour être ensuite corrodées.

L'érosion peut être évitée ou limitée, entre autres, par l'adaptation des vitesses des courants dans les tuyauteries, la conception des tuyauteries (éviter les coudes et les modifications soudaines de diamètres de conduites), par la sélection du matériau et par l'utilisation de filtres pour enlever les particules érosives.

## **D. Fatigue**

Certains métaux, dont l'acier doux, peuvent se laisser aller dans certaines circonstances, à des forces qui se situent largement en-dessous de la force de traction du métal, suite à la fatigue du métal.

L'occurrence de fatigue du métal dépend de la grandeur des forces et du nombre de cycles au cours desquels cette force s'exerce. Le seuil de fatigue (en anglais "fatigue limit") est la tension à laquelle un métal peut être soumis un nombre illimité de fois, sans qu'il n'y ait une rupture par fatigue.

La résistance à la fatigue du métal diminue aussi suite à la présence de corrosion et aux concentrations de tensions (microfissures, aspérités en surface, ...).

Les phénomènes qui peuvent conduire à la fatigue du métal sont, entre autres:

- les vibrations causées par les pompes et compresseurs, le courant turbulent dans les vannes, ...;
- les changements cycliques de pression (par exemple dans les réacteurs batch).

De tels phénomènes peuvent apparaître lors du fonctionnement normal de l'installation.

En ce qui concerne les charges cycliques qui se présentent lors du fonctionnement normal, la solution la plus appropriée est de choisir une enveloppe pour laquelle la tension reste en dessous du seuil de fatigue. S'il est toutefois impossible d'exclure

l'occurrence des phénomènes de fatigue en fonctionnement normal, il convient de suivre dans le temps la dégradation et de mettre l'enveloppe hors service à temps avant qu'une rupture par fatigue ne survienne.

## **E. Affaissements**

La fondation de l'équipement peut sous l'influence du poids s'enfoncer ou s'affaisser dans le sous-sol. Quand de tels affaissements n'interviennent pas de façon uniforme, les tensions peuvent être importantes pour les équipements et les tuyauteries. De telles tensions peuvent finalement mener à une rupture ou à une déchirure.

## **5.2 Mesures pour maîtriser les risques de dégradation**

### **5.2.1 Choix du matériau**

La dégradation peut en tout premier lieu être évitée ou limitée par le choix des matériaux pour l'enveloppe.

La résistance contre les conditions corrosives peut aussi être apportée par une couche de protection (une couche de peinture, un coating).

La température maximale à laquelle l'enveloppe est exposée peut être limitée par une isolation ou par un système de refroidissement.

### **5.2.2 Inspection et entretien**

Dans la mesure où la dégradation ne peut pas être évitée par le choix des matériaux et la construction de l'équipement, l'état de l'équipement devra être suivi dans le temps et il conviendra d'intervenir à temps avant qu'une libération ne survienne.

Nous utilisons ici le terme 'inspection et entretien' pour la combinaison des activités suivantes qui forment un ensemble cohérent:

- l'inspection de l'enveloppe;
- l'évaluation des résultats d'inspection et la décision concernant les actions à prendre;
- les actions prises sur base des résultats de l'inspection.

Chaque forme d'attaque exige une inspection adaptée, caractérisée par une méthode d'inspection, une zone à inspecter et un intervalle d'inspection. Il est bien entendu possible que, dans la pratique, pendant une inspection, différentes formes d'attaque soient suivies.

Pour la détermination de l'attaque de l'enveloppe, un grand nombre de techniques existent. Nous renvoyons à la littérature spécialisée. La technique d'inspection doit être adaptée au type de dommages auxquels on s'attend. Dans certains cas, on devra combiner différents techniques.

En plus de la méthode d'inspection, l'intervalle d'inspection, qui est le temps entre deux inspections, est une donnée importante. Nous reviendrons plus tard sur la détermination de cet intervalle d'inspection.

Les résultats de l'inspection doivent être approfondis et documentés en détails dans un rapport. Sur base des constatations, une décision doit alors être prise au sujet des actions à prendre. Les actions possibles sont:

- la mise hors service définitive de l'équipement;
- le remplacement de l'équipement;
- la réparation des dommages;
- le passage à une surveillance continue de l'équipement;
- l'adaptation des conditions de fonctionnement (par exemple, pression plus faible);
- la réduction de l'intervalle d'inspection;



- aucune action et le maintien de l'intervalle d'inspection;
- l'allongement de l'intervalle d'inspection.

La décision peut aussi contenir une combinaison de plusieurs de ces actions.

Si la nature du dommage constaté est telle que l'intégrité ne peut plus être assurée (jusqu'à l'inspection suivante), alors une action doit être prise immédiatement. L'équipement doit dans ce cas être réparé, remplacé ou mis définitivement hors service.

Quand les dommages constatés sont encore dans les limites acceptables, on peut décider d'appliquer un intervalle d'inspection plus court ou continuer à surveiller l'équipement en continu. Éventuellement on peut adapter les conditions de fonctionnement, par exemple en diminuant la pression de travail normale.

## **5.3 Identification des risques de dégradation**

### **5.3.1 Généralités**

L'identification des risques de dégradation est un processus qui doit être effectué pendant toute la durée de vie de l'équipement : depuis la conception jusqu'au moment où l'équipement est mis hors service définitivement.

L'identification des risques de dégradation pour un équipement déterminé commence par la détermination des conditions dégradantes auxquelles l'équipement est exposé.

Sur base de ces informations, le choix peut être fait pour les matériaux de construction en vue d'éviter ou de limiter la dégradation.

En se basant sur la connaissance des conditions de dégradation et des détails de construction de l'équipement, une estimation des phénomènes de dégradation attendus et de la nature de l'attaque peut être faite. Les techniques d'inspection doivent être choisies pour pouvoir détecter les formes d'attaque attendues.

Ensuite l'analyse des phénomènes de dégradation doit être vérifiée et si nécessaire être adaptée aux observations faites au cours des inspections. L'exécution des inspections fait donc intégralement partie de l'identification des risques de dégradation.

### **5.3.2 Identification des conditions de dégradation**

L'information suivante doit être déterminée:

- les substances présentes dans une enveloppe et les pressions et températures y régnant;
- l'environnement à l'extérieur de l'enveloppe, tel que la présence de circonstances rendant l'enveloppe sensible à la corrosion sous l'éventuelle isolation présente, l'émission de substances agressives dans le voisinage de l'équipement, la proximité de la mer;
- les forces qui s'exercent sur l'enveloppe, en particulier les forces cycliques et les concentrations de contraintes;
- l'occurrence de températures élevées qui peuvent conduire jusqu'au fluage, éventuellement concentrées à certains endroits (appelés "hot spots");
- la présence de conditions d'érosion (un courant de produit avec des particules érosives et/ou des vitesses élevées).

En répertoriant les influences dégradantes, on ne doit pas uniquement partir des substances présentes normalement et de la charge normale exercée sur l'enveloppe. Les déviations du fonctionnement normal qui ne constituent pas immédiatement une menace pour l'intégrité de l'enveloppe, peuvent par contre potentiellement conduire à des attaques à plus long terme. Une pratique courante est que les paramètres de procédé mesurés soient enregistrés. Cette information peut, du moins pour les installations existantes, être consultée.

Il est possible que, dans certains cas, les conditions de procédé présentes ne soient pas bien connues ou qu'une grande incertitude existe à leur sujet. C'est en soi une constatation importante qui doit être documentée comme telle dans l'analyse. L'incertitude au sujet des conditions dégradantes est en effet un élément dont il faut tenir compte quand on décide de la fréquence et de la nature des inspections. Si,

ultérieurement, plus de clarté apparaît au sujet des conditions dégradantes, l'identification des phénomènes dégradants et de l'évaluation des risques y afférent peut être revue.

### 5.3.3 Identification des mécanismes de dégradation

#### A. Sur base des conditions dégradantes

L'information sur les conditions de dégradantes doit être combinée avec l'information concernant la construction et éventuellement les réparations effectuées sur l'équipement.

L'information suivante sur l'équipement est importante :

- l'année de construction et la date des réparations effectuées;
- les raisons des réparations effectuées;
- les standards de construction suivis;
- les dessins de construction;
- les calculs de résistance;
- les matériaux utilisés;
- les résultats des contrôles des soudures.

Les éventuels manquements dans ces données sont un élément important dans l'évaluation des risques de dégradation et peuvent conduire à un comportement plus conservatif.

La prévision des mécanismes de dégradation sur base des conditions dégradantes régnautes exige l'expertise nécessaire et l'expérience. Il est donc recommandé d'exécuter de tels exercices avec un groupe multidisciplinaire avec, par exemple, des spécialistes en corrosion, des métallurgistes, des experts en soudure, des ingénieurs de projet, le personnel d'entretien et les opérateurs.

La comparaison avec des équipements exposés à des circonstances similaires peut aider lors de la prévision des phénomènes de dégradation possibles. Une condition étant que les inspections de ces équipements aient été judicieusement choisies, effectuées et documentées. Il est de toute façon toujours recommandable d'extrapoler les résultats d'inspection vers d'autres équipements avec la plus grande prudence car deux équipements ne sont jamais exactement les mêmes.

L'identification des mécanismes de dégradation implique que les points suivants soient déterminés:

- l'endroit de l'attaque: s'il s'agit d'une attaque généralisée ou à certains endroits;
- la nature du dommage (par exemple, réduction de l'épaisseur de paroi, formation de fissure, formation de bulle);
- la vitesse avec laquelle le dommage augmente ou s'étend.

#### B. Sur base des inspections

Pendant une inspection, on peut confronter les attentes en matière de mécanismes de dégradation à la réalité. Il est possible que l'analyse initiale doive ensuite révisée.

Au cours d'une inspection, des phénomènes dégradants qui on n'a pas prédits peuvent également être constatés. On ne peut pas perdre de vue que certaines formes de dommages ne peuvent uniquement être détectées que par des techniques d'inspection spécifiques. Ainsi au cours d'une inspection visuelle interne, seuls les phénomènes ayant causé des dommages visuellement perceptibles sur la surface métallique pourront être

constatés. Pour la détermination de dommages sous la surface métallique, des techniques spécifiques seront nécessaires.

Dans le cas où il y a beaucoup d'incertitude au sujet des phénomènes de dégradation à attendre, il peut dès lors être recommandé de décider, certainement lors des prochaines inspections, de mettre en place une plus large gamme de techniques d'inspection pour éventuellement identifier les formes d'attaque cachées. Cette incertitude peut être la conséquence d'une connaissance déficiente au sujet de l'équipement (information sur la construction et les réparations), de la grande incertitude au sujet des conditions de procédé présentes (p.ex. lors du traitement des produits très différents et de leurs mélanges).

On se doit aussi d'être conscient que certains phénomènes dégradants peuvent avoir une longue période d'incubation, comme la fatigue ou la corrosion sous contrainte, de sorte que les dommages seront seulement remarqués lors des inspections ultérieures.

L'identification des phénomènes de dégradation par le biais de l'inspection n'est en aucun cas une alternative pour une analyse sur base des mécanismes de dégradation. L'identification des phénomènes de dégradation attendus est nécessaire pour faire des inspections ciblées avec les techniques adéquates. L'inspection sert en premier lieu à suivre les dégradations attendues, mais est également l'occasion de confronter les phénomènes attendus à la réalité et de réviser et compléter l'analyse théorique préalable sur base des conditions présentes.

L'inspection d'une enveloppe est une partie de l'identification des risques et, pour cette raison, il est important que ceci ressorte du rapport. Du rapport, il doit apparaître clairement si la dégradation constatée concorde ou pas avec la dégradation attendue et si des mécanismes de dégradation complémentaires et inattendus ont été ou non constatés.

### **5.3.4 Détermination de la libération comme conséquence des phénomènes de dégradation**

Quand on laisse évoluer une attaque à une enveloppe, cela conduira finalement à une libération. Selon le mécanisme de dommage, cette libération peut arriver soit subitement soit progressivement.

Pour estimer la gravité de la dégradation dans un équipement donné, on doit donc déterminer en tout premier lieu quelles substances peuvent être libérées, dans quelles quantités et pendant quelle durée.

La nécessité d'identifier encore les événements ultérieurs qui surviennent après la libération, dépend de la manière dont le risque des déviations de procédé sera évalué.

Il est à remarquer qu'un développement plus approfondi des conséquences en vue de la détermination de la nécessité de mesures de limitation des dommages n'est pas le sujet ici. Ceci est pris en considération lors du traitement des fonctions de sécurité pour limiter les dommages de l'installation.

## **5.4 Evaluation des risques et spécification des mesures**

### **5.4.1 Généralités**

L'évaluation des risques de dégradation diffère de l'évaluation des autres risques dans le sens que, encore plus que pour les autres risques, il s'agit ici d'une activité dynamique qui peut apparaître à intervalles réguliers pendant toute la durée de vie de l'équipement.

Lors de la conception d'un équipement, on choisit certains matériaux de construction et une certaine géométrie. Comme il a été expliqué dans la partie précédente, on peut, en se basant sur ces choix de conception, faire une évaluation de la dégradation attendue. Sur cette base, on peut déterminer quelles zones de l'équipement doivent être examinées et avec quelles techniques d'inspection. Une même analyse doit être faite dans le cas où les conditions dégradantes dans un équipement existant sont modifiées.

Un premier intervalle d'inspection est déterminé, choisi généralement relativement petit pour tenir compte des incertitudes de l'analyse initiale des phénomènes de dégradation.

Après chaque inspection, il faut évaluer, si l'équipement convient ou pas pour rester en service jusqu'à l'inspection suivante. Éventuellement pour cela certaines actions doivent être entreprises, comme l'exécution de réparations ou l'adaptation des conditions de fonctionnement. Le choix de l'intervalle d'inspection et des méthodes d'inspection et des zones à inspecter de l'enveloppe doit être à nouveau évalué après chaque inspection et, le cas échéant, être adapté en fonction des résultats d'inspection.

### **5.4.2 Les zones à inspecter**

Le choix des zones à inspecter est déterminé par les endroits où la dégradation agit ou peut être attendue.

Les endroits très sensibles à l'attaque sont:

- les soudures;
- les zones avec des concentrations de contraintes;
- les points d'accrochage;
- les frontières avec les liquides.

La priorité que les soudures obtiennent dans un programme d'inspection dépend, entre autres:

- des circonstances de soudure (par exemple, sur place ou dans un atelier);
- les tensions à la hauteur de la soudure;
- l'exposition aux conditions de dégradantes;
- les conséquences lors de la défaillance de la soudure;
- les réparations effectuées à la soudure ou dans le voisinage de la soudure;
- le degré d'incertitude au sujet des facteurs évoqués ci-dessus.

Les réparations des soudures peuvent conduire à des défauts de soudure supplémentaires et à des contraintes résiduelles importantes. L'inspection des zones où de telles réparations ont été effectuées, mérite normalement une priorité élevée.

Quand l'attaque agit plutôt de façon uniforme sur une grande surface, alors on devra effectuer des mesures sur un certain nombre d'endroits représentatifs.

### 5.4.3 Choix des méthodes d'inspection

#### A. Objectifs des inspections

En général, une inspection doit être à même d'atteindre les objectifs suivants:

- la détection et la localisation des défauts (c'est-à-dire des dommages qui sont apparus dans l'enveloppe);
- la détermination du type de défauts;
- la mesure des défauts.

L'information souhaitée sur le type et les dimensions des défauts sont dépendantes des critères qui sont utilisés pour accepter ou non les défauts. Si on utilise les critères qualitatifs, il peut suffire de connaître la nature et la longueur du défaut. Si par contre l'évaluation s'est basée sur la mécanique de la rupture, cela peut alors être nécessaire de connaître la position exacte, la longueur, la largeur, la hauteur et l'orientation des défauts.

Il est possible, pour atteindre ces objectifs, de devoir utiliser différentes techniques. Certaines techniques sont par exemple judicieuses pour la détection de défauts, mais pas pour déterminer la forme et la dimension des défauts dans le métal.

#### B. La fiabilité souhaitée

La probabilité qu'on puisse effectivement détecter un défaut présent dépend de différents facteurs:

- la capacité inhérente de la technique pour détecter les défauts;
- l'utilisation de la technique, c.-à-d. la compétence de l'inspecteur, la disponibilité des instructions et procédures, la pression du temps et les circonstances dans lesquelles on doit travailler;
- l'état de l'équipement (pureté, géométrie, accessibilité, matériaux de construction);
- les forme, dimensions et localisation des défauts.

Ces facteurs déterminent aussi la précision avec laquelle les dimensions et l'orientation des défauts sont mesurées.

Les deux premiers facteurs parmi ceux cités plus haut sont manipulables. La fiabilité peut être augmentée par :

- le choix de méthodes et d'un appareil de mesure plus fiables;
- l'emploi de personnel plus qualifié;
- l'application des principes de redondance et de diversité.

Les erreurs humaines peuvent être évincées par l'utilisation de techniques d'inspection automatiques ou semi-automatiques. Les techniques avec lesquelles les résultats restent enregistrés (sous forme de photo, de courbes, de chiffres,...) permettent que les résultats soient jugés par plusieurs personnes.

L'application des principes de redondance et de diversité consiste, dans ce contexte, à ce que l'inspection d'une certaine zone soit réalisée plusieurs fois, le cas échéant par différents personnes et/ou par l'utilisation de différentes techniques.

La fiabilité des résultats d'inspection devraient être proportionnels au risque de défaillance de l'équipement à examiner.

Pour soutenir et rendre consistantes de telles décisions, l'entreprise pourrait diviser le programme d'inspection en classes de risques, à l'aide d'une matrice de risques. Cette matrice de risques combine la probabilité de ruine de l'équipement concerné suite aux mécanismes de dégradation qui sont visés par le programme d'inspection et l'étendue des conséquences d'une telle ruine.

## 5.4.4 L'intervalle d'inspection

### A. Le premier intervalle d'inspection après la mise en service

La première inspection après la mise en service d'un nouvel équipement (ou d'un équipement qui s'est vu attribué une nouvelle fonction) est de grande importance pour valider ou adapter l'identification théorique des mécanismes de dégradation attendus. Lors d'une première inspection, des dégradations inattendues peuvent être constatées, comme conséquence d'éventuelles fautes de conception, de construction ou d'une connaissance déficiente au sujet des conditions dégradantes.

Le manque d'expérience opérationnelle avec un équipement fait que le risque de défaillance doit être estimé comme étant plus élevé.

C'est une pratique industrielle courante qu'un nouvel équipement ne soit pas inspecté plus tard que 24 mois après sa première mise en service<sup>4</sup>. Plus grande est l'incertitude des conditions opérationnelles réelles, plus vite la première inspection doit suivre la mise en service.

Un allongement du premier intervalle d'inspection jusqu'à plus de 24 mois doit pouvoir être justifiée à l'aide de l'expérience opérationnelle favorable, comme par exemple, cela peut être obtenu en surveillant l'équipement en ligne.

### B. Entre 2 inspections

Les inspections doivent être réalisées avec une fréquence suffisante pour déterminer l'attaque ou l'endommagement. De plus, il doit être assuré que l'équipement convienne toujours pour les conditions opérationnelles auxquelles il est soumis. En anglais, on parle de "fitness for service".

Pour cela, l'intervalle d'inspection peut être choisi comme un pourcentage du reste de la durée de vie de l'équipement. La durée de vie peut être calculée en se basant sur la tolérance de l'équipement aux défauts et à l'attaque ainsi que sur la vitesse de l'attaque. Les standards API 579 "Recommended practice for fitness for service" et BS 7190 "Guide on methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures" peuvent être utilisés pour réaliser une estimation de la durée de vie.

Lors de l'estimation du reste de la durée de vie d'un équipement, on doit tenir compte de tous les mécanismes de dégradation connus et possibles. Les calculs doivent être faits sur base d'hypothèses conservatives. La base des calculs sont les mesures et observations faites lors des inspections réalisées. La valeur des calculs dépend donc de l'efficacité et de la fiabilité de ces inspections.

---

<sup>4</sup> Issu de "Best practice for risk based inspection as a part of plant integrity management", HSE contract research report 363/2001. Ce document est disponible via le site internet de HSE (Health and Safety Executive, UK).

Quelques mécanismes de dégradation, tels que la fatigue et la corrosion sous contrainte, ne présentent pas une vitesse constante mais s'accroissent avec le temps ou n'apparaissent qu'après un certain temps. Le reste de la durée de vie ne peut dès lors pas être déterminé de manière univoque. Dans de tels cas, il peut être approprié d'augmenter la fréquence d'inspection quand on approche de la fin de la durée de vie attendue.

Après chaque inspection, l'intervalle d'inspection doit à nouveau être évalué. Si, sur base des résultats d'inspection, l'intervalle d'inspection maximum doit être adapté, alors il y a lieu aussi d'adapter l'analyse des mécanismes de dégradation, qui était à la base de la détermination de l'intervalle d'inspection précédent.

L'approche décrite ci-dessus se base sur des codes industriels. L'expérience avec les phénomènes de dégradation dans l'installation et le conseil d'experts forment également une base précieuse pour établir le programme d'inspection.

En théorie, on pourrait aussi déterminer les intervalles d'inspection sur base d'une évaluation des risques. On pourrait déterminer l'intervalle de sorte que la probabilité de défaillance due aux dégradations ne soit jamais supérieure à une valeur acceptable déterminée. Une mise en pratique de cette méthode se heurte cependant à l'absence de modèles et d'informations fiables. Quand, lors de la détermination des intervalles d'inspection, on tient compte des risques, alors il s'agit, en pratique, d'un raccourcissement ou d'une prolongation des intervalles d'inspection qui ont été déterminés sur base d'autres méthodes (par ex., la durée de vie, les standards).

## 5.4.5 Actions de réduction des risques

Les résultats d'inspection doivent être évalués et il faut décider si l'équipement convient encore ou non pour rester en service pendant la durée de l'intervalle d'inspection prévu. Si l'évaluation est négative, il convient de décider des actions à prendre.

Des actions possibles sont:

- la mise hors service définitive de l'équipement;
- l'exécution de réparations;
- l'adaptation des conditions opérationnelles (pression de service maximale, température, ...);
- le raccourcissement du délai d'inspection;
- le suivi continu de la dégradation ("on-line monitoring").

Pour l'évaluation de la dégradation constatée, différentes méthodes peuvent être utilisées:

- comparaison avec l'épaisseur de paroi minimale (pour la diminution de l'épaisseur de paroi);
- comparaison avec des critères de qualité pour la construction (pour les défauts, par ex. dans les soudures);
- l'application de standards (par ex. British Standard 7910 "Guide on methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures" ou API 579 "Recommended practice for fitness for service");
- l'application de la mécanique de rupture ("fracture mechanics").



# 6 Limitation de libérations continues

## **6.1 Risques de libérations continues**

Les risques d'une libération continue nécessitent peu de commentaires. Il est évident que les dommages qui peuvent être causés, sont proportionnels aux quantités de substances dangereuses pouvant être libérées. La probabilité d'avoir des dommages sera également plus importante en cas de plus grandes quantités. Des nuages explosifs plus grands trouveront plus facilement une source d'ignition. Des nuages toxiques plus grands présentent une probabilité plus grande de toucher une personne que des plus petits nuages. Dans le cas d'un incendie, l'arrêt de l'alimentation en combustible du foyer de l'incendie, est une façon efficace, et dans une série de cas, la seule manière pratique d'éteindre l'incendie.

Les quantités libérées lors d'une libération continue sont déterminées par le débit de fuite et la durée de la fuite. Le débit de fuite est en principe déterminé par la taille de l'ouverture de fuite, la pression dans l'équipement qui fuit et la phase de la substance libérée. Plus la pression est importante, plus la force est importante et donc, plus la vitesse de fuite est grande. La masse qui est libérée pour une fuite en phase liquide est, à un débit volumétrique égal, beaucoup plus grande que dans le cas d'une fuite en phase gazeuse. Une fuite dans une conduite connectée, au-dessus du niveau de liquide conduit en principe uniquement à une libération en phase gazeuse. Dans le cas de gaz liquéfiés sous pression, de la vapeur sera libéré en principe jusqu'à évaporation complète du contenu.

Afin d'être complets, mentionnons encore qu'il existe, à côté des libérations continues, des libérations instantanées. Pour ces libérations instantanées, le contenu d'un équipement est libéré soudainement ou en un temps très court. Dans ces cas, on n'a pas le temps ou la possibilité de limiter la quantité de substances libérées.

## **6.2 Mesures pour limiter les libérations continues.**

Les mesures pour limiter les libérations continues seront appelées "mesures de limitation de fuites" dans la suite du document. Nous faisons une différence entre les mesures actives et les mesures passives.

### **6.2.1 Mesures passives de limitation de fuites**

Le fait d'éviter des raccords en phase liquide et l'utilisation de tubes plongeurs avec coupe-siphons sont des mesures préventives qui peuvent être prises afin d'éviter les fuites liquides continues.

Par exemple, le standard API 2510 "Design and Construction of liquefied Petroleum Gas (LPG)" recommande explicitement par exemple ces éléments pour les réservoirs cylindriques horizontaux de GPL.

Les tubes plongeurs entrent dans l'équipement par le haut et vont jusque dans la phase liquide. S'ils sont utilisés comme conduite d'alimentation, alors on peut les équiper de coupe-siphons (ouvertures au-dessus de la surface liquide) afin de prévenir un retour de flux depuis la phase liquide. Dans ce cas, il faut seulement tenir compte d'une libération de vapeurs en cas de fuite dans ce tube plongeur.

### **6.2.2 Mesures actives de limitation de fuites**

#### **A. Les éléments d'une mesure active de limitation de fuites**

Une mesure active de limitation de fuites est une mesure active comprenant les éléments suivants:

- la détection de la libération;
- la décision de prendre une action;
- l'exécution de l'action qui va limiter la libération.

Les actions possibles pour limiter la libération sont:

- l'isolation des équipements contenant des substances dangereuses de l'endroit où la libération a lieu;
- le pompage du contenu des équipements où la libération a lieu, vers d'autres équipements;
- la diminution de la pression engendrant ainsi une diminution du débit de fuite.

Pour des raisons pratiques, nous discuterons séparément dans cette note des moyens pour détecter la libération, pour prendre une décision sur l'action à prendre et de l'exécution de cette action. Dans la pratique, il existe en effet beaucoup de combinaisons et donc autant de mesures différentes possibles. Il est cependant important de savoir qu'aucun de ces éléments pris séparément ne peut être considéré comme une mesure en soi. C'est seulement en les combinant en un ensemble fonctionnel qu'on réalise une mesure.

Pour être complet, mentionnons que certaines mesures combinent les trois éléments, comme par exemple les clapets anti-retour, les limiteurs de débit, les liaisons "break-away".

## **B. Détection des libérations**

### ***Détection fixe de gaz***

Une détection fixe de gaz donne la possibilité de surveiller de manière continue certaines zones dans l'installation. Ces systèmes de détection peuvent également être utilisés pour d'autres mesures de limitation des dommages comme la lutte incendie, l'évacuation et la planification d'urgence.

L'utilisation de systèmes de détection gaz pour la détection de libération est seulement possible lorsque suffisamment de gaz et de vapeurs sont produits au cours de la libération.

La détection d'un mélange de gaz ou de vapeurs inflammables est une technique courante. On peut utiliser une détection ponctuelle où la concentration est surveillée à un endroit déterminé ou une détection en ligne sur base d'un rayonnement infra rouge.

Pour d'autres substances, on trouve moins de techniques de détection disponibles. S'il est exigé des systèmes d'analyse plus compliqués, on peut travailler alors avec un prélèvement d'air à divers endroits. Ces prélèvements d'air sont ensuite amenés à un appareil d'analyse situé à un endroit central. De manière cyclique, chaque point de prélèvement est abordé périodiquement.

### ***Observation des paramètres de procédé***

Une des fonctions de base d'un opérateur est le suivi du procédé et la détection de situations anormales. Cela doit être spécifiquement abordé lors de la formation des opérateurs.

Une modification soudaine des paramètres de procédé, comme une chute de pression ou d'un niveau de liquide, peut être une indication qu'une fuite est survenue.

Si de telles modifications soudaines n'ont rien à voir avec le fonctionnement normal, alors on peut envisager de lier ces modifications à des alarmes afin de faire connaître ces changements auprès des opérateurs, ou, le cas échéant, de les coupler à des actions automatiques. Si on travaille avec une alarme, alors les opérateurs doivent recevoir les instructions nécessaires et une formation afin de pouvoir interpréter de telles alarmes et prendre les actions qui s'imposent.

Un exemple typique pour lequel cette technique peut être appliquée, est un réservoir de stockage, dans lequel le niveau de liquide diminue seulement en cas de consommation de produit hors du réservoir et pour lequel la vitesse de consommation est connue. Une diminution soudaine du niveau de liquide, lorsqu'aucune consommation n'a lieu, ou une diminution plus rapide qu'en cas de consommation normale, peuvent indiquer une fuite.

### ***Détection par le personnel dans l'installation***

Les libérations peuvent être observées par le personnel qui se trouve dans le voisinage de la libération.

Si l'on compte sur ce type de détection, alors il est important de vérifier dans quelle mesure le personnel est présent dans l'installation. La seule certitude au sujet d'une

détection de fuites peut seulement être donnée là où du personnel est présent sur une base continue.

C'est par exemple le cas pour la présence permanente d'un travailleur pendant le déchargement, élément qui, dans beaucoup de codes de bonnes pratiques est recommandé et qui, dans certains cas, est obligatoire légalement.

Dans les endroits où la présence permanente de travailleurs n'est pas garantie, on peut quand même prévoir un certain degré de surveillance humaine via des tournées régulières. Il ne faut pas surestimer le rôle de telles rondes de surveillance dans le cadre de la limitation de libérations. L'intervalle entre deux tournées peut généralement être de plusieurs heures. Dans le cadre de la limitation des libérations, des tournées périodiques permettent une détection utile uniquement pour les libérations limitées et lentes. Ceci n'enlève rien à l'utilité et l'importance des tournées périodiques du le personnel opérationnel pour d'autres buts.

Une alternative à la présence permanente sur place est la surveillance par caméra. Il faut encore être attentif à ne pas accorder une fiabilité trop importante à ce type de détection. La détection d'une libération est seulement possible si les écrans sont effectivement observés et si la qualité d'image est suffisante pour rendre clairement une libération.

## **C. Décision de prendre une action**

### ***Décision automatique***

Coupler une action automatique à une détection peut bien entendu se faire que si autant la détection que l'action, sont effectuées sans intervention humaine. L'avantage d'une décision automatique est la vitesse à laquelle on intervient, en conséquence de quoi, les quantités de substances libérées sont limitées de manière plus importante que lorsqu'on compte sur une intervention humaine.

Dans le cas d'une action automatique initiée par un système de détection de gaz, on choisira généralement de donner une alarme à une concentration située sous la valeur d'enclenchement de la sécurité. Les systèmes de détection pour des concentrations de substances inflammables donnent typiquement une alarme à des concentrations en dessous de la limite inférieure d'inflammabilité (en anglais: "Lower Explosion Limit" ou "LEL" en abrégé).

Il y a aussi des limitations aux actions automatiques. Une première limitation est qu'il doit y avoir un lien univoque entre les actions qui sont réalisées automatiquement et la détection d'une libération.

Une seconde limitation est liée aux sollicitations indésirées de la sécurité. La fermeture de vannes d'urgence ou l'arrêt de pompes peuvent engendrer d'autres risques ou causer de graves perturbations de production. On peut éviter la probabilité d'avoir une sollicitation non voulue de la sécurité par une fausse détection en plaçant plusieurs têtes de détection et en élaborant une logique de déclenchement pour laquelle il faut que plus d'une tête de détection ne donne une valeur dangereuse avant qu'une action ne soit prise.

### ***Décision humaine***

Dans le cas où l'on utilise des systèmes techniques de détection, mais que la décision d'intervenir fait l'objet d'une décision humaine, il est alors important que le système de

détection soit couplé à une alarme qui donne à un endroit où il y a une présence permanente d'opérateurs qui peuvent prendre la décision.

Ces personnes doivent disposer d'instructions et avoir suivi une formation afin de pouvoir interpréter correctement les alarmes et de pouvoir prendre les actions judicieuses.

## **D. Isolement des équipements de l'endroit de la libération**

L'isolement des équipements de l'endroit où a eu lieu la libération est la technique la plus utilisée afin de limiter les quantités libérées. Pour cela, on peut utiliser des vannes d'urgence, des clapets anti-retour, des limiteurs de débit et, pour ce qui concerne la sécurité des postes de déchargement, des liaisons break-away.

### ***Vannes d'urgence***

Avec le terme "vanne d'urgence", nous visons dans ce contexte une vanne prévue expressément pour être fermée en cas de fuite afin de limiter la quantité de liquide de fuite.

En anglais, les vannes d'urgence peuvent être désignées par différents termes comme:

- emergency block valve (EBV);
- emergency isolation valve (EIV);
- emergency shutdown valve (ESD-valves);
- remotely operated shut-off valve (ROSOV).

Les vannes d'urgence peuvent être actionnées manuellement ou à distance. Pour les vannes de type "ROSOV", il est évident qu'il s'agit de vannes commandées à distance. Pour les vannes de types "EBV" et "EIV", ce n'est pas toujours le cas.

Les vannes d'urgence commandables à distance sont équipées d'un moteur de vanne électrique ou pneumatique, ce qui offre la possibilité de les commander manuellement à distance (par ex. via un bouton d'arrêt d'urgence) ou automatiquement (par un système de détection de gaz par exemple). Dans le cas de vannes d'urgence commandables manuellement, une personne doit aller sur place et fermer la vanne avec sa force physique.

Il est évident que des vannes commandables à distance peuvent offrir un niveau de protection considérablement plus élevé que des vannes commandables manuellement. Le choix entre ces deux options, fermeture manuelle ou à distance, est un aspect essentiel dans la spécification des mesures. Nous y reviendrons par la suite.

Afin d'être complets, mentionnons également, qu'à côté des vannes d'urgence commandables manuellement ou à distance, il est également mentionné dans la littérature l'existence de vannes actionnées par la chaleur ("heat activated valves"). Ce sont des vannes qui se ferment lorsqu'elles sont exposées à un incendie. L'avantage de telles vannes est qu'elles n'ont pas besoin d'instrumentation ni d'utilités et qu'elles fonctionnent automatiquement. Elles seraient en outre très fiables. L'inconvénient est qu'elles ne s'actionnent qu'en cas d'incendie (et pas directement après la libération) et qu'elles ne peuvent pas entraîner d'autres actions comme l'arrêt d'une pompe.

### ***Les clapets anti-retour***

Les clapets anti-retour sont désignés dans la littérature anglaise avec des termes comme "non-return valves" et "check valves".

Les clapets anti-retour laissent passer le flux dans un sens et se ferment quand le flux s'inverse. Ce sont des appareils mécaniques qui sont montés dans les tuyauteries et qui sont actionnés par le flux lui-même.

Les clapets anti-retour peuvent limiter une libération dans certaines situations. Un exemple est un clapet anti-retour dans une conduite d'alimentation d'un réservoir de stockage. En cas de fuite en amont du clapet anti-retour (par exemple à hauteur de la liaison temporaire pour le déchargement d'un camion-citerne ou d'un bateau) le clapet anti-retour va, s'il travaille correctement, limiter la vidange du réservoir par la conduite d'alimentation.

Les clapets anti-retour n'ont pas bonne réputation en ce qui concerne leur fiabilité. La plupart du temps ils ne sont pas testés systématiquement. Les fuites aux clapets anti-retour ne sont pas une exception.

### ***Les limiteurs de débit***

Les limiteurs de débit sont désignés dans la littérature anglaise "excess flow valves".

Les limiteurs de débit coupent le flux lorsque le débit dépasse une certaine valeur. Ce sont, tout comme les clapets anti-retour, des appareils mécaniques qui sont actionnés par le flux lui-même. Classiquement, les limiteurs de débit sont activés lorsque le débit est supérieur au débit normal de 50%. La conduite en amont du limiteur de débit doit donc avoir la capacité suffisante afin de rendre une telle augmentation de débit possible, suite à une fuite et de faire fonctionner le limiteur de débit.

Les limiteurs de débit peuvent être utilisés afin d'isoler un équipement d'une fuite ou d'une rupture dans une conduite de sortie. Les limiteurs de débit ont besoin d'un débit minimum pour pouvoir fonctionner, qui est plus grand que le débit normal. Pour des petites fuites, ils ne sont donc pas efficaces.

### ***Les liaisons break-away***

Une liaison break-away est un équipement qui est intégré dans une tuyauterie. C'est un élément relativement faible dans la tuyauterie qui est conçu pour se rompre sous l'effet d'une certaine force. Cette rupture se fait entre deux clapets qui, ensemble, se maintiennent ouverts. Lorsque les deux clapets sont dissociés, ils se ferment.

## **E. Transfert vers un système de recueil d'urgence**

Une autre stratégie afin de limiter les quantités libérées dans le cas d'une fuite est de transférer le contenu de l'équipement qui fuit vers un système de recueil d'urgence. Cette règle peut aussi bien être utilisée afin de limiter une fuite dans une tuyauterie raccordée qu'en cas de fuite dans l'équipement lui-même.

Le système de recueil d'urgence peut être un réservoir vide, prévu spécifiquement pour cette fonction.

On peut également transférer le contenu vers un autre équipement de l'installation comme par exemple un réservoir tampon ou un réservoir de stockage avec une capacité disponible suffisante. Cela suppose que les capacités de stockages ne soient pas complètement exploitées et qu'il faut garder de la place disponible pour en cas d'urgence.

Bien entendu, les risques de réactions et d'effets indésirés doivent être maîtrisés. Le contenu de l'équipement qui fuit peut être transféré vers le réservoir de recueil par gravité, par pompage ou par différence de pression entre l'équipement et le réservoir de recueil d'urgence.

Il est également possible de traiter le contenu de l'équipement qui fuit. S'il s'agit d'un équipement qui alimente un procédé de production (comme par exemple un réacteur), on peut alors envisager de ne pas stopper l'alimentation. Les risques d'une telle opération doivent être évalués en comparaison aux risques liés à la libération. Une autre forme de traitement est la destruction ou l'envoi vers une torchère.

## **F. Diminution de la pression**

Dans le cas d'une fuite vers l'atmosphère, la pression dans l'équipement qui fuit est la force mouvante. Si l'on peut diminuer la pression dans l'équipement qui fuit, on peut alors diminuer également le débit de fuite.

Les actions qui permettent une diminution de la pression sont:

- l'arrêt de l'alimentation en chaleur;
- l'arrêt des pompes;
- l'évacuation des gaz et vapeurs.

Ces règles peuvent aussi bien être utilisées pour limiter une fuite dans une conduite raccordée à l'équipement que pour une fuite dans l'équipement lui-même.



## **6.3 Identification des risques de libérations continues**

### **6.3.1 Généralités**

Comme nous allons l'expliquer dans la section suivante, les décisions concernant les mesures de limitation de fuites sont surtout prises sur base du contenu de l'équipement et du potentiel de fuite de ce dernier. L'approche que nous proposons ici, vise donc aussi de rassembler ces informations pour tous les équipements.

### **6.3.2 Le potentiel de danger**

Un critère important pour pouvoir décider si oui ou non on place des mesures de limitation de fuites est le potentiel de danger que l'équipement représente.

Le potentiel de danger est déterminé par:

- la nature des substances présentes;
- les quantités de substances présentes;
- la pression et la température auxquelles les substances sont présentes.

Des équipements typiques avec de grands volumes sont:

- des réservoirs de stockage;
- des cuves de procédé (réacteurs, tours de distillation, accumulateurs, ...);
- des longs tronçons de tuyauteries.

### **6.3.3 Potentiel de fuite**

Un second critère important est le potentiel de fuite de l'équipement. Les équipements qui en général ont une plus grande probabilité de présenter des fuites, sont, entre autres:

- les pompes;
- les compresseurs;
- les liaisons temporaires entre un équipement de transport et l'installation fixe.

Les pompes et compresseurs ne contiennent généralement pas en eux-mêmes de grandes quantités de substances dangereuses mais ils peuvent être en liaison avec de plus gros volumes. Le contenu du réseau de tuyauteries doit également être gardé à l'œil.

Beaucoup de phénomènes, liés à la construction et au fonctionnement des pompes et compresseurs, peuvent mener à des libérations:

- les garnitures d'axe des pompes et compresseurs sont des points sensibles aux fuites (ce risque n'existe pas pour les pompes et compresseurs dits sans garniture);
- la cavitation;
- les vibrations;
- une surchauffe lorsque la pompe travaille en complète recirculation sans refroidissement adéquat;

- une explosion interne suite à une aspiration d'air en cas de fuites et de restrictions dans la conduite d'aspiration; la présence de substances inflammables est bien entendu nécessaire dans ce cas;
- une montée en pression suite à une sortie fermée;
- un incendie en conséquence d'une fuite dans le système d'huile de lubrification avec défaillance de la pompe ou du compresseur suite à la surchauffe engendrée;
- une panne du refroidissement pour des compresseurs à plusieurs étages.

La liaison temporaire entre l'installation fixe et un équipement de transport (camions-, wagons-citernes ou bateaux) doit être considérée comme un point faible. La liaison peut être réalisée via un flexible ou via un bras de (dé)chargement avec des articulations. La pratique montre que la probabilité de fuite ou de rupture est réelle avec ces liaisons temporaires. En cas de rupture d'une liaison temporaire (par exemple suite à un arrachement), il survient deux points de fuite. Aussi bien l'équipement de transport que l'installation fixe sont en liaison avec la liaison avec l'environnement.

Une analyse utile consiste à prendre en compte des équipements qui ont eu des fuites par le passé. On peut obtenir cette information en questionnant le personnel opérationnel ayant plusieurs années d'expérience ou on peut rechercher dans les rapports d'accidents et incidents. La présence ou l'absence de toute expérience avec des fuites peut être documentée pour chaque équipement dans le cadre de l'analyse des risques de fuites continues.

### **6.3.4 Tuyauteries raccordées**

Enfin, il est important d'avoir une bonne vue d'ensemble des tuyauteries raccordées par équipement. Des éventuelles vannes d'urgence pourront en effet être placées sur ces tuyauteries.

Il est important ici de faire une différence entre les raccordements situés au-dessus et sous le niveau normal de liquide.

## 6.4 *Evaluation des risques et la spécification de mesures*

### 6.4.1 Généralités

Dans la section précédente, nous décrivions quelle information joue un rôle important dans les décisions sur les mesures de limitation de fuites. Dans cette section, nous allons aborder plus en détails les critères de décisions qui peuvent être utilisés à ce sujet.

En premier lieu, on peut s'inspirer des codes de bonne pratique et de publications similaires qui formulent des recommandations au sujet de la prise de mesures de limitation de fuites.

Des substances utilisées couramment font l'objet de recommandations spécifiques sur le stockage et le (dé)chargement. Les services belges d'inspection Seveso ont rédigé une publication relative au stockage et au (dé)chargement de liquides facilement inflammables dans laquelle on traite notamment du placement de vannes d'urgence. On peut également trouver des recommandations plus générales par exemple dans:

- le document de référence "Lees' Loss Prevention in the Process Industries";
- "Guidelines for Fire Protection in Chemical, Petrochemical, and Hydrocarbon Processing Facilities", une publication du "Center for Chemical Process Safety (CCPS)".

Certaines entreprises ont des critères internes de décision pour le placement de vannes d'urgence. Dans certains cas, il y a des logigrammes de décision par type d'équipement (cuves de procédé, pompes, compresseurs, réservoirs, fours, etc.). Les paramètres dont on tient compte peuvent varier assez fortement d'une entreprise à l'autre.

Des paramètres typiques sont:

- les quantités et la nature des substances présentes;
- la pression et la température auxquelles les substances sont présentes;
- la position des vannes dans les conduites raccordées;
- l'endroit où se trouvent les vannes manuelles (en hauteur ou au niveau du sol, la distance par rapport à l'équipement);
- la classe de pression des tuyauteries.

L'avantage de tels critères est qu'ils permettent de réaliser relativement vite une évaluation. En outre, l'application de critères donne des résultats très consistants.

D'autres mesures de limitation de fuites, comme le transfert vers un système de recueil d'urgence ou la diminution de la pression, ne font le plus souvent pas l'objet de tels critères internes. Les entreprises qui utilisent des critères internes pour le placement de vannes d'urgence ne doivent pas oublier d'évaluer le besoin de ce type de mesures, qui limitent également les fuites dans l'équipement lui-même.

Il est possible qu'une entreprise, sûrement pour celles qui manquent de critères internes, ne sache pas, pour chaque équipement, prendre une décision claire sur base de recommandations publiées. Il est cependant conseillé de documenter les considérations prises en compte lors du choix de la prise ou non de mesures de limitation de fuites pour chaque équipement. L'entreprise démontre également, au travers de la documentation explicite de sa décision de ne pas prendre de mesures de limitation de fuites, que l'absence de ce type de mesures n'est pas due au fait qu'on n'y a pas réfléchi, mais qu'il

s'agit bien d'un choix conscient. La documentation de ces décisions permet également de les réévaluer plus tard.

## 6.4.2 Une sélection de recommandations

Nous donnons ci-dessous une sélection de recommandations au sujet des mesures de limitation de fuites. Cette sélection a pour but, dans un premier temps, d'illustrer ce qui se trouve dans la littérature et n'a certainement pas la prétention d'être complète. Ce n'est pas non plus l'objectif de remplacer les documents cités. Nous invitons les entreprises à consulter elles-mêmes les sources citées et à rechercher toute autre information sur le sujet.

### A. Réservoirs de stockage atmosphériques et zones de déchargement

Les services belges d'inspection Seveso ont rédigé une publication pour le stockage et le (dé)chargement des liquides facilement inflammables avec une série d'exigences pour atteindre le niveau de protection élevé qui est demandé dans l'accord de coopération. En ce qui concerne la limitation d'une fuite de liquide, ce qui suit est demandé dans cette publication:

- des vannes commandables à distance sur toutes les conduites liquides, placées le plus près possible du réservoir et qui peuvent être actionnées d'un endroit sûr;
- absence d'éléments non résistants au feu (par exemple des vannes manuelles) entre le réservoir et cette vanne;
- une construction "fail safe" des vannes, de telle manière qu'en cas de perte d'énergie, les vannes se ferment (dans la plupart des cas, perte de l'air comprimé sur les vannes et de l'alimentation électrique sur les solénoïdes);
- la résistance au feu de ces vannes, qui doit être prouvée par un certificat;
- la résistance au feu de la méthode de montage de la vanne;
- La résistance au feu des joints des brides entre le réservoir et la vanne.

Les "Guidelines for Fire Protection in Chemical, Petrochemical and Hydrocarbon Processing Facilities" du CCPS donnent les recommandations suivantes au sujet du stockage et du (dé)chargement de liquides inflammables:

- L'arrêt automatique du (dé)chargement dans le cas d'une rupture du bras de (dé)chargement ou du flexible de (dé)chargement est fortement à conseiller. Un arrêt manuel (via le bouton d'arrêt d'urgence) par un opérateur qui surveille les opérations de (dé)chargement est également acceptable, pour autant qu'il y ait une bonne signalisation et un bon accès au bouton d'arrêt d'urgence.
- pour le (dé)chargement de liquides inflammables via la vanne de fond, la vanne de (dé)chargement devrait pouvoir être commandée à distance et être équipée d'une liaison qui fond.

### B. Pompes et compresseurs

Dans l'ouvrage de référence "Lees' Loss Prevention in the Process Industries", on trouve les critères suivants pour lesquels le placement de vannes d'urgence commandables à distance est recommandé dans la conduite d'aspiration de la pompe:

- Les pompes utilisées pour des liquides à une température supérieure à la température d'auto-inflammation;
- les pompes utilisées pour des gaz combustibles liquéfiés et des liquides à une température supérieure à leur point d'éclair et qui ont une probabilité de fuite relativement élevée. Ce dernier élément est d'application:

- s'il ressort de l'expérience que la pompe concernée a déjà fuit;
  - si les pompes fonctionnent à de très hautes (plus hautes que 180°C) ou de très basses températures (plus basses que - 30°C);
  - si d'autres indications montrent qu'on peut s'attendre à des fuites;
- les pompes utilisées pour des gaz combustibles liquéfiés où une fuite est moins probable, mais où, en cas de fuite, on pourra avoir une grande quantité de produit libéré.

Lorsque que des vannes de régulation sont présentes, elles peuvent aussi être prises en considération comme vannes d'urgence commandables à distance.

S'il existe déjà en amont, au niveau de la conduite d'aspiration de la pompe, une vanne d'urgence commandable à distance pour d'autres raisons (par exemple pour pouvoir isoler un réservoir de stockage), alors le placement d'une vanne supplémentaire peut être superflu, à condition que la quantité dans la conduite entre la pompe et la vanne d'urgence commandable à distance soit limitée.

Si des compresseurs sont placés dans une disposition à plusieurs étages avec des réservoirs intermédiaires, il est conseillé d'équiper également ces réservoirs intermédiaires de vannes d'urgence commandables à distance (à partir d'un volume de quelques m<sup>3</sup>).

Le document "Guidelines for Fire Protection in Chemical, Petrochemical and Hydrocarbon Processing Facilities" du CCPS donne les recommandations suivantes pour les compresseurs:

- vannes d'urgence pour les compresseurs pour des gaz inflammables avec une puissance supérieure à 150 kW, avec lesquels le compresseur doit automatiquement être stoppé avant la fermeture des vannes;
- détection de gaz dans les bâtiments ou locaux où se trouvent des compresseurs pour gaz inflammables. Lorsque 40 à 50% de la limite inférieure d'explosivité sont atteints, le compresseur est arrêté et toutes les conduites raccordées sont fermées (aussi bien à l'aspiration qu'au refoulement).

Le standard API 2510 "Design and Construction of Liquefied Petroleum Gas (LPG) Installations" recommande l'installation de clapets anti-retour au refoulement de toutes les pompes centrifuges.

## C. Cuves de procédé

L'ouvrage "Guidelines for Fire Protection in Chemical, Petrochemical and Hydrocarbon Processing Facilities" du CCPS recommande d'envisager le placement de vannes d'urgence pour les équipements suivants:

- Les colonnes et réacteurs contenant une fraction liquide de minimum 5000 litres de substances inflammables avec maximum 4 atomes de carbone par molécule (C4 et plus légers);
- Accumulateurs et récipients avec une fraction de liquide de minimum 8000 litres de substances inflammables avec au maximum 4 atomes de carbone par molécule (C4 et plus légers) ou des substances à une température supérieure à leur température d'auto-inflammation;
- les cuves de procédé avec une fraction liquide de minimum 16 000 litres de substances inflammables à une température supérieure à leur point d'éclair.

Il est mentionné ici que les vannes d'urgence doivent être facilement accessibles dans des circonstances défavorables ou commandables à distance.

### 6.4.3 Vannes commandables manuellement ou à distance

Dans certaines recommandations au sujet du placement de vannes d'urgence, il n'est pas clair si par « vannes d'urgence », on vise des vannes d'urgence commandables à distance ou bien des vannes d'urgence commandables manuellement. Lorsque le placement d'une vanne d'urgence a été identifié comme nécessaire, alors le choix d'une vanne manuelle ou commandable à distance est cependant fondamental. Il doit être clair qu'une vanne d'urgence commandable à distance offre un haut niveau de protection plus élevé qu'une vanne d'urgence manuelle. Les vannes d'urgence commandables à distance jouissent donc alors évidemment de la préférence.

Les avantages des vannes d'urgence commandables à distance sont:

- une activation automatique est possible (lorsqu'elles sont couplées à une détection);
- une activation manuelle à distance est possible, ce qui est plus sûre et plus rapide qu'une activation sur place;
- une position fail safe peut être prévue (position en cas de perte d'énergie);
- avec des vannes commandables à distance, une fermeture automatique peut être prévue en cas d'incendie;
- la fermeture de la vanne peut être couplée avec d'autres actions, comme l'arrêt d'une pompe ou d'un compresseur, de manière à pouvoir éviter les problèmes liés à la fermeture des conduites d'alimentation ou de sortie de l'équipement;
- Le temps de fermeture peut être contrôlé afin de pouvoir éviter des problèmes de coups de bélier;
- Une vanne automatique peut aussi être utilisée pour d'autres fonctions de protection (par exemple pour éviter le surremplissage).

Si l'entreprise opte quand même pour une vanne d'urgence manuelle, alors ce choix doit pouvoir être justifié. Il faut pouvoir prouver que la vanne manuelle peut être manipulée suffisamment à temps et que la commande peut se faire de manière sûre.

Si ce n'est pas le cas, alors on ne peut pas assurer que, dans tous les cas, la vanne d'urgence permettra de limiter la libération. La vanne d'urgence peut dans certains cas par contre être utilisée et, dans ce sens, sa présence est meilleure que rien du tout. La conséquence est par contre que l'on accepte le risque que la libération ne puisse pas (toujours) être limitée. Ce dernier point doit être clairement documenté et argumenté.

# 7 Maîtrise de la dispersion de substances et d'énergie

## **7.1 Les risques de la dispersion**

Lorsqu'une substance dangereuse est libérée, la dispersion de cette substance dans l'environnement (via l'air, sur le sol, dans le sol ou via l'eau) est dans une large mesure déterminante pour les dommages qui peuvent être causés. La dispersion des substances dangereuses peut, selon la situation, avoir un effet aussi bien positif que négatif.

Si des gaz ou des vapeurs combustibles sont libérées, alors une faible dispersion peut conduire à la formation de mélanges explosifs dans l'air. Une forte dispersion, sous la forme d'une ventilation vigoureuse, diminuera le risque de formation d'une atmosphère explosive grâce à la dilution sous la limite inférieure d'explosivité.

Le risque d'incendie s'étend également avec la dispersion de liquides inflammables. La dispersion et la formation de grandes flaques favorisent en outre l'évaporation et la formation de nuages explosifs. Le recueil local de liquides inflammables autour de l'équipement qui fuit expose cet équipement à des dommages supplémentaires dus à un incendie. Dans le cas des gaz liquéfiés, un BELVE peut se produire.

La dispersion de l'eau d'extinction peut aussi comporter des risques évidents. Les hydrocarbures sont généralement plus légers que l'eau et peuvent se répandre en une couche de liquide en feu ou non sur le dessus de l'eau d'extinction ruisselante. L'eau d'extinction est souvent également polluée et pourrait provoquer des dommages importants à l'environnement lorsqu'elle se retrouve dans les eaux souterraines ou dans les eaux de surface.

Les substances toxiques peuvent également se disperser avec un effet positif ou négatif. La dispersion induit une dilution et une réduction de la concentration en substances dangereuses, mais d'autre part, le déplacement d'un nuage toxique vers un bâtiment occupé ou une zone habitée (aussi bien à l'intérieur et qu'à l'extérieur des limites de l'entreprise) peut former une menace pour les personnes présentes.

La dispersion de substances éco-toxiques dans un compartiment environnemental peut immédiatement provoquer des dommages, en fonction de la vulnérabilité du compartiment environnemental et des propriétés de la substance impliquée. Pour prévenir les dommages environnementaux, la limitation de la dispersion des substances éco-toxiques est donc très importante.

Une libération indésirée peut se produire de manière explosive. Pensons par exemple à un équipement qui se rompt à cause d'une explosion interne ou à cause de la décomposition d'une substance instable. Des équipements travaillant à très haute pression peuvent donner lieu à une explosion en cas de ruine catastrophique. Des substances solides explosives sont évidemment aussi une source de danger d'explosion. L'énergie libérée lors de la ruine explosive d'un équipement ou lors d'une explosion de substance solide se disperse comme une onde de pression et en formant des projectiles.



## 7.2 Mesures pour maîtriser la dispersion

Nous nous limiterons aux techniques les plus couramment utilisées pour maîtriser la dispersion des substances libérées.

### 7.2.1 Enveloppes secondaires

Une enveloppe secondaire est une deuxième enveloppe placée autour de l'enveloppe dans laquelle les substances dangereuses se trouvent. Cela crée un espace entre l'enveloppe intérieure et extérieure dans lequel les substances peuvent être récoltées en cas de fuite dans l'enveloppe intérieure. On parle également d'enveloppes à double parois.

Dans le cas des enveloppes à double parois, un système doit toujours être prévu pour détecter les fuites dans l'enveloppe interne. Cela est réalisé via une surveillance de l'espace entre les parois internes et externes. On doit en effet supposer que l'existence d'une fuite ou une rupture dans l'enveloppe intérieure conduira, tôt ou tard, si aucune action n'est prise, à une fuite dans la paroi extérieure et finalement à une libération dans l'environnement.

Des méthodes typiques pour le contrôle de l'espace entre les enveloppes, sont :

- la détection de gaz ;
- la surveillance de la pression ;
- la détection de liquide (par exemple par des mesures de conductivité) ;
- l'analyse des contaminations d'un gaz de purge circulant dans l'espace entre les parois ;
- la détection visuelle de liquide dans des pots de collecte aux points bas (pour les tuyauteries à double enveloppe) ;
- la surveillance du niveau pour détecter les fuites de liquide.

En outre, les dispositions nécessaires doivent être présentes pour pouvoir évacuer, d'une manière sûre, les substances dans l'espace inter-paroi en cas de libération.

### 7.2.2 Encuvement

L'objectif d'un encuvement est de contenir localement le liquide libéré et éventuellement les eaux d'extinction et de limiter la dispersion à l'environnement immédiat de l'équipement protégé, en attente d'une évacuation. Cela a pour conséquence que dans le cas de liquides inflammables, l'équipement protégé peut être exposé à un incendie suite à une fuite de liquide dans l'encuvement.

Le principe d'un encuvement est opposé à celui du recueil et de l'évacuation, dont l'objectif est d'éloigner les substances libérées de l'équipement duquel elles ont été libérées.

### 7.2.3 Système de recueil et d'évacuation

La fonction d'un système de recueil et d'évacuation est la capture de la fuite de liquide et son évacuation vers un système de récolte ou de traitement.

Un sol imperméable en pente amènera la fuite de liquide, éventuellement avec l'aide de bordures, vers des caniveaux ou des puisards. Ce principe peut être appliqué aussi bien au rez-de-chaussée qu'à des niveaux plus élevés dans des bâtiments ou des structures de procédé ouvertes. Ce dernier point suppose bien entendu l'usage de planchers pleins au lieu de caillebotis.

Les caniveaux ont une plus grande capacité que les puisards, de sorte que la hauteur de liquide peut être limitée. Les puisards prennent la forme de boîtes intégrées dans le sol et auxquelles est connecté un tuyau de décharge, typiquement avec un diamètre de 10 à 15 cm. Ils sont recouverts d'une grille afin que le liquide puisse s'écouler. La surface de la grille est généralement deux fois plus grande que celle du tuyau de décharge.

Les puits de recueil captent les liquides des caniveaux et des puisards. De là, les substances sont conduites vers un système de traitement ou vers un volume de récolte important. Pour la récolte de l'eau d'extinction, on peut entre autre utiliser des bassins de rétention, des puits de recueil ou des réservoirs de stockage. La fuite de liquide peut être pompée hors du volume de récolte pour être évacué vers des entreprises de traitement de déchets spécialisées. Il est toutefois crucial qu'aucune dispersion incontrôlée vers l'environnement ou vers des zones où des dommages peuvent être causés ne puisse survenir à partir du système de traitement.

## 7.2.4 Bâtiment fermé

Un bâtiment peut arrêter ou ralentir la dispersion de liquides ou de gaz et de vapeurs vers l'environnement. Pour assurer cette fonction de sécurité, le bâtiment doit par contre être conçu spécialement à cet effet.

La limitation de la dispersion de gaz et de vapeurs hors d'un bâtiment peut être réalisée de deux manières : par la réalisation d'un bâtiment hermétique ou en s'assurant d'une dépression constante. Les vapeurs et les gaz devront ensuite être éliminés d'une manière sûre. Les solutions possibles sont :

- évacuation de l'air vers une installation de purification ;
- ventilation vers l'atmosphère via un point d'émission sûr.

## 7.2.5 Couverture d'une flaque de liquide

La couverture d'une flaque de liquide en stoppe ou en diminue son évaporation.

Dans une série de cas spécifiques, de l'eau peut être utilisée pour couvrir une flaque de liquide dans un encuvement et de cette manière contrer la vaporisation et la dispersion ultérieure via l'atmosphère. Les conditions indispensables sont que les substances concernées soient plus lourdes que l'eau, non miscibles avec celle-ci et ne pas conduire à de réaction dangereuse à son contact. Des exemples sont le brome et le disulfure de carbone.

Dans la littérature est également discutée l'utilisation de mousse. L'utilisation classique de mousse est l'extinction d'incendies de liquides. La mise en place d'une couche de mousse peut cependant également contrer l'évaporation d'une flaque de liquide et en prévenir l'ignition.

## 7.2.6 Rideaux d'eau

Les rideaux d'eau peuvent être appliqués au moyen de systèmes fixes de pulvérisation, de canons fixes ou de matériels d'extinction mobiles. Le temps nécessaire à l'activation du rideau d'eau est critique. Les nuages de gaz peuvent en effet se déplacer très rapidement après leur libération. Les systèmes fixes avec activation automatique (par exemple par détection de gaz) offrent en ce sens un avantage indéniable.

Les rideaux d'eau peuvent avoir les effets suivants sur les nuages de gaz et de vapeur :

- dilution du nuage en raison des grandes quantités d'air entraînées par les gouttelettes;
- absorption des gaz ou des vapeurs par l'eau (uniquement dans le cas de gaz ou vapeurs solubles dans l'eau);
- ajout de chaleur dans un nuage froid, de sorte que la dispersion vers le bas du nuage puisse être diminuée;
- formation d'une barrière physique qui arrête le déplacement du nuage de gaz.

L'effet de dilution par les rideaux d'eau est fortement tributaire, entre autre, de la taille et de la vitesse des gouttes de liquide. La direction des gouttelettes et l'emplacement du rideau d'eau par rapport au nuage sont également importants. Des gouttelettes plus grosses entraînent moins d'air avec elles que des plus petites gouttelettes, mais ont des vitesses plus importantes, de sorte que le mélange et la dispersion sont favorisées. Lorsque l'absorption est possible, des gouttelettes plus petites ont l'avantage de présenter une plus grande surface de contact.

L'air qui est entraîné par des rideaux d'eau dirigés vers le bas sera déporté dans toutes les directions lors du contact avec le sol, et donc créera un déplacement d'air s'éloignant du rideau d'eau. Ce principe peut s'appliquer pour l'éloignement d'un nuage de gaz d'une zone critique, par exemple une zone où se trouve une source d'ignition ou des victimes potentielles.

L'effet de dilution d'un rideau d'eau est essentiellement efficace à une courte distance et pour des fuites plutôt limitées. Plus le rideau d'eau est éloigné et plus l'effet de dilution est limité. Pour la dilution de plus grosses fuites et pour un résultat à plus grande distance, l'absorption du nuage par les gouttelettes d'eau est nécessaire.

L'absorption de gaz ou de vapeurs par les gouttelettes d'eau est possible pour des substances très solubles dans l'eau, telles que l'ammoniac, l'acide fluorhydrique, l'acide chlorhydrique et l'acide cyanhydrique. Le chlore, le dioxyde de soufre, le sulfure d'hydrogène et les oxydes d'azote ont par contre une solubilité très limitée dans l'eau.

L'eau d'un rideau d'eau est contaminée par l'absorption de gaz ou de vapeurs. Les risques de dispersion de cette eau contaminée doivent bien sûr également être identifiés.

## 7.2.7 Ventilation

Une distinction peut être faite entre la ventilation naturelle et la ventilation artificielle.

La ventilation naturelle se produit en plein air ou dans des bâtiments ayant des ouvertures suffisantes pour causer un fort courant d'air. On parle de ventilation naturelle non limitée en l'absence d'obstacles importants pouvant limiter les mouvements naturels de l'air. Concrètement, cela signifie que la vitesse de l'air est généralement supérieure à 2 m/s et rarement inférieure à 0,5 m/s.

A l'air libre, la ventilation naturelle peut être favorisée en prévoyant suffisamment d'espace entre les équipements et en évitant les obstacles (murs, parois,...).

D'une façon équivalente, les bâtiments peuvent être conçus pour avoir une ventilation naturelle, à savoir en prêtant attention aux dimensions des locaux (hauteur suffisante) et à la présence d'ouvertures de ventilation.

La ventilation artificielle utilise des dispositifs mécaniques afin d'obtenir un flux d'air.

La ventilation artificielle est généralement utilisée à l'intérieur d'un local, mais peut également être utilisée à l'air libre pour compenser les limitations de la ventilation naturelle en raison de la présence d'obstacles.

Les configurations possibles de la ventilation artificielle sont :

- ventilation générale : l'atmosphère de l'entièreté du local est renouvelée ;
- ventilation locale : aspiration à proximité directe de la source de danger.

Des aspects importants lors de la conception d'une ventilation artificielle sont:

- la capacité, exprimée en vitesse d'air ou en nombre de renouvellement par unité de temps ;
- la sécurité de fonctionnement.

Afin d'assurer le bon fonctionnement de la ventilation, il est possible de surveiller le fonctionnement d'un ventilateur (au moyen d'une alarme) ou de coupler le fonctionnement du ventilateur à la possibilité de réaliser certaines activités.

## 7.2.8 Murs résistant aux explosions

Le placement de murs autour d'une source de danger d'explosions a pour but en cas d'explosion de contenir les projectiles et de mener l'onde de pression dans une direction sûre. Pour limiter les effets de la formation de projectiles, les murs sont placés le plus près possible contre la source de danger.

Un exemple typique est l'emmurement des équipements travaillant à très haute pression, et qui en cas de ruine, peuvent donc donner lieu à des ondes de pression considérables et à la formation de projectiles. Des murs résistant aux explosions sont en outre appliqués lors du stockage de substances solides explosives.

## **7.3 Identification des risques de dispersion des substances et d'énergie**

### **7.3.1 Généralités**

Les mesures à prendre sont dans bien des cas prescrites soit par la réglementation, soit par les codes de bonne pratique, soit sont évidents. Pour prendre une décision, il suffit, dans la plupart des cas, d'avoir des informations sur le potentiel de danger présent, c'est-à-dire : la nature et la quantité de substances dangereuses et les conditions de procédé dans lesquelles elles sont présentes.

L'approche que nous proposons ici pour l'identification des risques de dispersion de substances et d'énergie est orientée vers une collecte pour tous les équipements de l'information nécessaire sur les dangers. Sur cette base, il est possible d'identifier les formes possibles de dispersion dangereuse. Pour chaque forme de dispersion, on peut alors documenter quelles mesures ont été prises pour la maîtriser.

Au lieu de collecter cette information pour chaque équipement individuellement et de documenter les mesures qui en découlent, on pourrait aussi considérer des groupes d'équipements. Il ne faut cependant pas oublier que des mesures spécifiques peuvent être prises pour des certains équipements individuels. Par exemple : des pompes peuvent se trouver dans un encuvement individuel, certaines tuyauteries sont exécutées en double-paroi, des récipients mobiles peuvent être placés dans un bac collecteur.

Il est possible que, dans certains cas, l'information sur le danger ne suffira pas pour la prise de décision. Dans ces cas plutôt rares, une analyse plus approfondie est nécessaire, par exemple au moyen de modèles de dispersion et d'une évaluation quantitative des risques. La description de ces techniques spécialisées sort du cadre de cette publication.

### **7.3.2 Identification du potentiel de danger des équipements**

L'information suivante sur le potentiel de danger est nécessaire pour réaliser une estimation de base de la façon dont une substance se dispersera après libération et les situations dangereuses auxquelles cela pourra mener :

- l'identité des substances;
- l'état physique dans lequel elles sont présentes (liquide, gazeux, supercritique);
- les quantités dans lesquelles elles sont présentes;
- la pression et la température auxquels se trouvent les substances.

La façon dont une substance se dispersera après libération est en premier lieu fonction de certaines propriétés inhérentes de la substance telles que le point de solidification, le point d'ébullition, la pression de vapeur, la densité relative par rapport à l'air et par rapport à l'eau, la solubilité dans l'eau, etc. Pour une modélisation quantitative de la dispersion, une connaissance approfondie des propriétés physiques et chimiques des substances impliquées est nécessaire.

La température a une influence sur l'évaporation des substances libérées. Les substances présentes à une température supérieure au point d'éclair pourront conduire à des

vapeurs inflammables. Des gaz froids, dont la densité à température ambiante est proche de celle de l'air, auront tendance à s'épandre vers le bas. Les liquides qui sont maintenus sous pression formeront, lors de leur libération, aussi bien une flaque de liquide qu'un nuage gazeux.

Les liquides présents sous haute pression pourront être libérés lors des petites fuites sous la forme d'un brouillard de gouttelettes pulvérisées. Pour des plus grosses fuites, les liquides sous pression peuvent être libérés sous la forme d'un jet de liquide. Notez que les jets de liquide peuvent aussi être la conséquence de la pression hydrostatique dans les équipements fonctionnant à pression atmosphérique.

En ce qui concerne la dispersion de l'énergie, il faut identifier les équipements qui peuvent donner lieu à une rupture catastrophique, tels que:

- les équipements à pression élevée pouvant donner lieu à une explosion physique en cas de ruine soudaine;
- les équipements qui à cause d'une rapide montée de la pression interne peuvent se rompre de manière explosive (par exemple à cause d'une explosion interne ou d'une décomposition thermique rapide d'une substance instable);
- les lieux de stockage de substances solides explosives.

### 7.3.3 Identification de formes dangereuses de dispersion

Les formes possibles de dispersion pour des substances sont par exemple:

- une flaque de liquide inflammable, toxique ou éco-toxique ;
- un jet de liquide d'une substance inflammable, toxique ou éco-toxique ;
- un nuage de gaz ou de vapeur explosif, toxique ou éco-toxique.

Une seule fuite peut évidemment donner lieu à plusieurs formes de dispersion.

Les formes possibles de dispersion sont une conséquence directe des fuites au niveau de l'équipement (ou des équipements dans une zone donnée). Il est donc important d'examiner toutes les fuites représentatives possibles afin de parvenir à un ensemble représentatif des formes de dispersion.

Lors de la libération d'énergie, il y aura des ondes de pression et des projectiles. Des modèles physiques peuvent être utilisés pour faire une estimation de la surpression en fonction de la distance jusqu'à la source de l'explosion. Avec cette information, on peut faire une estimation des dommages aux autres équipements, aux bâtiments et aux personnes (à l'intérieur ou à l'extérieur des limites de l'entreprise).

### 7.3.4 Dispersion de l'eau d'extinction

L'eau d'extinction peut être polluée par les produits libérés, par les produits de combustion ou la mousse d'extinction. Une enquête sur les propriétés de ces sources potentielles de contamination doit renseigner sur la possibilité que l'eau d'extinction puisse être polluée. Le résultat de l'analyse peut différer d'une zone à l'autre.

L'eau d'extinction polluée peut menacer les eaux souterraines et de surface. Elle peut atteindre les eaux de surface par les égouts ou par l'écoulement direct vers un cours d'eau ou vers un lieu de recueil des eaux de surface tel qu'un étang, un lac ou un canal. Les eaux souterraines peuvent être menacées par la pénétration dans le sol de l'eau d'extinction polluée. La vulnérabilité d'une nappe phréatique est fonction de la profondeur et de la présence de couches imperméables qui protège la nappe.

Le danger de pollution de l'environnement est donc fonction des propriétés de l'eau d'extinction et de la présence de compartiments environnementaux aquatiques sensibles. Lorsque le risque de pollution existe, des mesures doivent être prises pour éviter que l'eau d'extinction polluée n'atteigne les eaux souterraines ou de surface.

## **7.4 Evaluation des risques et spécification des mesures**

### **7.4.1 Principe général**

Comme indiqué précédemment, des mesures visant à lutter contre la dispersion défavorable sont généralement prescrites par la réglementation et par les codes de bonne pratique.

Pour des substances toxiques beaucoup utilisées comme le chlore, le phosgène, l'ammoniac et l'acide fluorhydrique, il existe des recommandations spécifiques concernant la récolte des fuites, le recouvrement des flaques de liquide, la ventilation, l'utilisation des rideaux d'eau, etc.

Nous donnons ci-dessous une sélection de recommandations à titre d'illustration.

### **7.4.2 Sélection de recommandations**

#### **A. Réservoirs de stockage**

Les réservoirs de stockage sont généralement placés dans des encuvements. C'est également souvent une obligation légale. Une solution alternative est un réservoir à double paroi.

#### **B. Cuves de procédé**

Sous les installations de procédé, on prévoit généralement un sol en béton et un système de récolte des eaux de pluie et des éventuelles fuites.

Des sols en pente et des bordures peuvent être utilisés pour détourner des équipements sensibles, une fuite de liquide inflammable vers un système de recueil.

Les substances éco-toxiques peuvent pénétrer dans le sol et ensuite contaminer les nappes phréatiques. Dans ce cas, un sol imperméable ou une autre forme de recueil est nécessaire. En outre, il faut empêcher que des substances éco-toxiques puissent ruisseler sur la surface du sol vers des rivières, des canaux ou un autre type d'étendue d'eau se trouvant à proximité de l'installation.

#### **C. Tuyauteries**

Les tuyauteries à double enveloppe doivent être envisagées dans les situations suivantes :

- tuyauteries transportant des substances très dangereuses;
- tuyauteries dans des espaces confinés où des fuites représentent un risque important à cause du manque de ventilation ou à cause de la présence de personnel;
- pour protéger des tuyauteries construites en matériaux moins résistants, comme le plastique ou le verre.



## **D. Canaux contenant des tuyauteries**

Dans le "Guidelines for Fire Protection in Chemical, Petrochemical and Hydrocarbon Processing Facilities" du CCPS nous trouverons les recommandations suivantes concernant les canaux contenant des tuyauteries.

- Les canaux contenant des tuyauteries doivent être munis d'un système de drainage. Ils ne peuvent pas servir eux-mêmes comme système d'évacuation de plus grosses fuites, d'eau d'extinction ou d'eau de pluie.
- le sol sous les tuyauteries doit être en pente (pente de 1%) sur un seul côté du canal et vers un point d'évacuation, de sorte que les fuites éventuelles de liquide puissent être rapidement éloignées des tuyauteries.
- tous les 100 à 150 mètres (300 à 500 ft) sont montées des cloisons transversales qui divisent ainsi le canal contenant des tuyauteries en plusieurs sections. L'objectif est d'éviter la dispersion dans le sens de la longueur en cas d'une tuyauterie rompue ou qui fuit. Chaque section dispose de son propre drainage pour l'élimination des fuites de liquide ou d'eau d'extinction.

## **E. Fuites dans des espaces confinés**

Si des vapeurs ou des gaz toxiques peuvent être libérés dans un espace confiné (un local ou un bâtiment), il est alors nécessaire de prévoir une détection de gaz et une ventilation. Il doit également être tenu compte de plus grandes libérations. Lorsque les vapeurs ou les gaz ne peuvent être évacués vers l'atmosphère d'une manière sûre et écologiquement responsable, une purification du flux de gaz aspiré est nécessaire (par exemple via une colonne d'absorption).

Dans le cas où le danger de formation de nuages explosifs dans un bâtiment existe, il est également nécessaire de prévoir une détection de gaz et une ventilation. Souvent, la ventilation naturelle ne sera pas suffisante pour assurer un renouvellement adéquat et une ventilation forcée sera nécessaire.

## **F. Recueil et évacuation de l'eau d'extinction contaminée**

Si l'eau d'extinction peut être contaminée, alors des mesures doivent être prises pour éviter que l'eau d'extinction puisse atteindre les eaux souterraines ou de surface.

La pénétration de l'eau d'extinction dans les nappes phréatiques sensibles est empêchée par la construction de sol ou sous-sol imperméable. Les eaux d'extinction peuvent être collectées localement (par exemple dans un encuvement) ou évacuées vers un dispositif de récolte avec une capacité suffisante.

Des sols en pente, des bordures et des encuvements peuvent prévenir l'écoulement de l'eau d'extinction vers un cours d'eau, un canal ou vers une autre forme d'étendue d'eau.

Des vannes dans les égouts empêchent que l'eau d'extinction contaminée atteigne les égouts publics.

# 8

## **Eviter des sources d'ignition**

## **8.1 Risque d'ignition d'une atmosphère explosive**

### **8.1.1 Atmosphères explosives**

Par le terme « l'atmosphère explosive », nous référons dans ce chapitre à un mélange d'air et de substances combustibles (gaz, fumées, brouillards ou poussières) qui peut s'enflammer. Après ignition l'incendie va s'entretenir jusqu'à consommation complète du mélange. Lors de l'ignition, un feu de nuage (sans surpressions importantes) ou une explosion du nuage de gaz peuvent se produire. Cela dépend du degré de confinement et de la présence de turbulence dans le nuage de gaz. Quand les vapeurs au dessus d'une flaque de liquide s'enflamment, alors un feu de flaque se produit. La combustion lente d'un nuage de gaz aboutit à un feu de nuage éphémère. L'ignition des atmosphères explosives peut donc mener à une explosion, à un incendie ou les deux. De l'utilisation du terme « atmosphère explosive », on ne peut pas donc conclure qu'il est uniquement question de risque d'explosion. Le risque d'incendie est également visé. Nous utiliser néanmoins le terme « atmosphère explosive » parce que ce terme est aussi utilisé dans la réglementation relative à la suppression des sources d'ignition.

La prévention des sources d'ignition constitue l'objet de l'arrêté royal (AR) du 26 mars 2003 concernant le bien-être des travailleurs susceptibles d'être exposés aux risques présentés par les atmosphères explosives. Par la suite, nous appellerons cet AR « AR Atex social ». L'AR Atex social définit différents types d'atmosphère explosive, appelées « zones », en fonction de la probabilité d'occurrence de ces atmosphères. Les appareils qui sont utilisés dans ces zones doivent remplir certaines conditions pour que la probabilité qu'ils constituent eux-mêmes une source d'ignition soit suffisamment faible.

Nous reviendrons de façon approfondie plus tard sur la définition de ces zones, mais il est important de déjà mentionner ici que ces zones sont des atmosphères explosives qui peuvent se présenter lors du fonctionnement normal de l'installation. Les mesures qui sont imposées par l'AR Atex social aux sources d'ignition valent par conséquent pour les atmosphères explosives lors du fonctionnement normal de l'installation. La notion de « fonctionnement normal » est expliquée ci-dessous.

Pour être complètement clair, nous voulons souligner que l'AR Atex social concerne toutes les atmosphères explosives en circonstances atmosphériques, autant celles qui peuvent se présenter lors du fonctionnement « normal » que celles qui peuvent se présenter en fonctionnement « anormal » de l'installation. Seules les prescriptions concernant les sources d'ignition se limitent aux atmosphères explosives en fonctionnement normal.

Nous nous limitons ici plus loin aux atmosphères explosives externes, présentes à l'extérieur des équipements. Les explosions internes sont une conséquence des conditions divergentes du procédé et une cause de libérations indésirées. Cette problématique a été abordée au chapitre 4.

### **8.1.2 Fonctionnement normal**

La notion de « fonctionnement normal » est reprise dans la définition des « zones ». Une zone est un volume explosif ayant une certaine probabilité de se produire. Les

prescriptions pour éviter les sources d'ignition sont données pour les différents types de zones qui sont définies dans l'AR Atex social.

Dans l'AR Atex social, la notion de « fonctionnement normal » est définie comme suit: une situation où les installations sont utilisées conformément à leurs paramètres de conception.

Les atmosphères explosives externes, auxquelles nous nous limiterons ensuite dans ce chapitre, se présentent comme la conséquence de la libération de substances inflammables dans l'environnement.

Quelques paramètres de conception des équipements des installations de procédé qui sont importants dans le cadre de la problématique de libération, sont :

- la pression de conception,
- la température de conception,
- une certaine épaisseur de paroi minimale.

Quand ces paramètres sont dépassés, des libérations peuvent survenir. De telles libérations doivent être évitées par la mise en œuvre de mesures préventives nécessaires, comme commenté dans le chapitre 4 « maîtrise des déviations de procédé ». Ce type de libérations ne sont pas considérées comme survenant en « fonctionnement normal » et ne donnent donc pas lieu à des zones à l'intérieur desquelles sont valables les prescriptions réglementaires correspondantes concernant les sources d'ignition.

Pour exclure de telles libérations lors de la définition des zones, l'AR Atex social indique en fait de façon implicite que la maîtrise des risques d'explosion qui en résultent, ne peut pas se reposer sur la suppression des sources d'ignition. L'apparition de mélanges explosifs suite au dépassement des paramètres de conception doit être ramenée à une probabilité très faible, une probabilité qui est plus faible que celle qui peut être associée avec la zone la moins probable, à savoir la zone 2 ou 20 (voir plus loin pour les définitions des zones).

Le fait que la réglementation n'impose pas de prescriptions explicites concernant la limitation des sources d'ignition dans les atmosphères explosives en fonctionnement anormal ne signifie pas qu'aucune attention ne doit y être apportée. Une mesure typique à cet égard est de respecter les distances de sécurité jusqu'aux sources d'ignition permanentes (circulation, immeubles de bureaux, les équipements avec des surfaces chaudes ou une torchère). Bien que de telles mesures aient leur plus-value, on ne peut pas entretenir l'illusion que l'ignition (et le risque d'explosion y afférant) de grands nuages explosifs puisse aussi être entièrement exclu.

« Fonctionnement normal » ne signifie pas « fonctionnement sans faute ». Même quand l'entreprise travaille dans les limites des paramètres de conception, des libérations peuvent apparaître. Pensons par exemple à une fuite au niveau d'une garniture d'un axe. Même en « fonctionnement normal » (dans les limites des paramètres de conception), l'usure peut apparaître au joint, par laquelle son étanchéité est perdue. Quand un équipement est sujet à une usure prévisible, cette usure ne signifie pas un dépassement des paramètres de conception.

Il va de soi que les libérations qui conduisent à des atmosphères explosives en « fonctionnement normal » doivent être limitées autant que possible (aussi bien dans la fréquence d'occurrence que dans les quantités libérées) par un bon projet et un entretien adéquat de l'installation. Ceci signifie que l'installation doit être conçue pour limiter les zones autant que possible : aussi bien en nombre, en classe et qu'en étendue.

### 8.1.3 Zones

Les "zones" mentionnées ci-dessous, dont il est question aussi dans l'AR Atex social, sont des volumes dans lesquels une atmosphère explosive peut être présente (en fonctionnement normal). Une zone est accompagnée d'un chiffre en fonction de la probabilité de survenance de l'atmosphère explosive. Dans la numérotation, une différence est ensuite faite entre, d'une part les atmosphères explosives avec des gaz, fumées, vapeurs ou brouillard (fines gouttelettes) et d'autre part, avec des substances solides.

Tableau 8.1 : Définition des zones

Zone 0:	Emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard est présente en permanence, pendant de longues périodes ou fréquemment.
Zone 1:	Emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal.
Zone 2:	Emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou, si elle se présente néanmoins, n'est que de courte durée.
Zone 20:	Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles est présente dans l'air en permanence, pendant de longues périodes ou fréquemment.
Zone 21:	Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal.
Zone 22:	Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou, si elle se présente néanmoins, n'est que de courte durée.

### 8.1.4 Sources d'ignition

Une source d'ignition est un phénomène physique ou chimique qui peut donner suffisamment d'énergie pour amener une atmosphère explosive à l'inflammation. En fonction de la grandeur de l'atmosphère explosive et du degré de confinement, le résultat de cette inflammation est un incendie ou une explosion (lors de laquelle des ondes de pression importantes apparaissent).

Dans la norme européenne EN 1127-1: 1997 "Atmosphères explosives – Prévention de l'explosion et protection contre l'explosion – Partie 1: Notions fondamentales et méthodologie" une liste est donnée des sources possibles d'ignition.

1. Surfaces chaudes

2. Flammes et gaz chauds
3. Cause mécanique d'étincelles
4. Installations électriques
5. courants électriques de circulation (courants vagabonds) et protection cathodique contre la corrosion
6. Electricité statique
7. Foudre
8. Champs électromagnétiques dans le domaine des radios fréquences
9. Rayonnement électromagnétique dans le domaine optique
10. Rayonnement ionisant
11. Ultrason
12. Compression adiabatique, ondes de pression et gaz circulants
13. Réactions chimiques

## **8.2 Mesures pour éviter l'ignition de nuages explosifs**

### **8.2.1 Mesures imposées par l'AR Atex social**

L'article 9 de l'AR Atex social impose des prescriptions pour les équipements de travail qui sont utilisés sur les lieux où une atmosphère explosive peut être présente.

Autant l'installation dans sa globalité que les composants individuels avec lesquels elle est construite, doivent être considérés comme des équipements de travail.

On fait ici une distinction entre, d'une part les équipements de travail qui ont été mis à la disposition des travailleurs pour la première fois avant le 30 juin 2003 et, d'autre part, les équipements de travail qui ont été mis à disposition des travailleurs pour la première fois après cette date.

#### **A. Equipements de travail utilisés avant le 30 juin 2003**

Pour les équipements de travail qui ont été utilisés avant le 30 juin 2003 (et donc mis à la disposition des travailleurs pour la première fois), ils peuvent uniquement encore être utilisés quand il ressort du document relatif à la protection contre les explosions qu'aucun danger d'explosion ne soit lié à leur utilisation.

En pratique, cela signifie que le risque que ces équipements de travail causent une explosion a été identifié et que les mesures ont été formulées et prises pour maîtriser ce risque. Il doit ressortir d'une évaluation que ces mesures sont suffisantes. L'analyse et l'évaluation y afférant doivent être fixées par écrit comme une partie du document relatif à la protection contre les explosions.

Comment cette analyse doit se passer et sur base de quels critères les risques doivent être évalués n'est pas décrit dans l'AR Atex social. Il est toutefois recommandé de suivre autant que possible la méthode de travail qui est prescrite pour les équipements de travail qui ont été mis à disposition après 30 juin 2003.

#### **B. Equipements de travail utilisés après le 30 juin 2003**

Pour les équipements de travail qui ont été mis à disposition des travailleurs pour la première fois après le 30 juin 2003, en premier lieu, les mêmes dispositions sont valables que pour d'autres équipements de travail : ils peuvent uniquement être mis en service quand il ressort du document relatif à la protection contre les explosions qu'aucun danger n'est lié à leur utilisation.

Ces équipements de travail doivent toutefois en plus répondre aux prescriptions de la partie B de l'annexe II. Celles-ci sont rédigées comme suit:

*"Sauf dispositions contraires prévues par le document relatif à la protection contre les explosions, fondé sur l'évaluation des risques, il convient d'utiliser dans tous les emplacements où des atmosphères explosives peuvent se présenter des appareils et des systèmes de protection conformes aux catégories prévues par l'arrêté royal du 22 juin 1999 déterminant les garanties de sécurité que doivent présenter les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles.*

*Les catégories suivantes d'appareils seront notamment utilisées dans les zones indiquées, à condition qu'elles soient adaptées aux gaz, vapeurs ou brouillards et/ou poussières concernés, selon les cas:*

- *dans la zone 0 ou 20, appareils de la catégorie 1;*
- *dans la zone 1 ou 21, appareils de la catégorie 1 ou 2;*
- *dans la zone 2 ou 22, appareils de la catégorie 1, 2 ou 3."*

Ces catégories sont définies dans l'arrêté royal du 22 juin 1999 déterminant les garanties de sécurité que doivent présenter les appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosives. Cet AR est la transposition de la directive économique 94/9/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 mars 1994 concernant le rapprochement des législations des états membres pour les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosives. Plus loin, nous appellerons cet AR "AR Atex économique".

Ces catégories constituent une échelle pour le niveau de protection (« normal », « élevé » et « très élevé ») avec lesquelles on prévient l'apparition des sources d'ignition dans un appareil. Pour être complet, nous donnons ci-dessous les exigences imposées aux appareils respectivement des catégories 1, 2 et 3.

### **C. Exigences imposées aux appareils de catégorie 1**

La catégorie 1 comprend les appareils conçus pour pouvoir fonctionner conformément aux paramètres opérationnels établis par le fabricant et assurer un très haut niveau de protection.

Pour les appareils, qui sont mis à disposition dans un environnement explosif suite à la présence de gaz, de vapeurs ou de brouillards, doivent présenter les exigences suivantes:

- Ces appareils doivent être conçus et fabriqués de manière à ce que les sources d'inflammation ne deviennent actives, même celles résultant d'un dérangement rare de l'appareil.
- Ils doivent être munis de moyens de protection de façon à ce que:
  - *soit, en cas de défaillance d'un des moyens de protection, au moins un second moyen indépendant assure le niveau de protection requis;*
  - *soit, dans le cas de l'apparition de deux défauts indépendants l'un de l'autre, le niveau de protection requis soit assuré.*
- Pour les appareils dont les surfaces peuvent s'échauffer, il faut s'assurer que, dans le cas le plus défavorable, la température de surface maximale indiquée ne soit pas dépassée.
- Les élévations de température résultant d'une accumulation de chaleur et de réactions chimiques doivent aussi être prises en considération.

Pour les appareils, qui sont mis à disposition dans un environnement explosif suite à la présence de mélanges d'air avec des poussières doivent présenter les exigences suivantes:

- Les appareils doivent être conçus et fabriqués de façon à éviter l'inflammation de mélanges d'air avec des poussières, même celle résultant d'un dérangement rare de l'appareil.
- Ils doivent être munis de moyens de protection de façon à ce que:
  - *soit, en cas de défaillance d'un des moyens de protection, au moins un second moyen indépendant assure le niveau de protection requis;*
  - *soit, dans le cas d'apparition de deux défauts indépendants l'un de l'autre, le niveau de protection requis soit assuré.*
- *Pour autant que nécessaire, les appareils doivent être fabriqués de façon à ce que l'introduction ou l'évacuation de poussières ne puisse se produire qu'aux*



*endroits des appareils prévus à cet effet. Les entrées de câbles et pièces de raccordement doivent aussi satisfaire à cette exigence.*

- *Les températures de surface des parties d'appareils doivent, pour éviter l'inflammation des poussières en suspension, être nettement inférieures à la température prévisible d'inflammation du mélange d'air avec des poussières.*

*Les appareils doivent être conçus de manière telle que l'ouverture de parties d'appareils qui peuvent être des sources d'inflammation ne soit possible qu'en l'absence d'énergie ou dans le cas des conditions de sécurité intrinsèque. Lorsqu'il n'est pas possible d'inactiver les appareils, le fabricant doit apposer une étiquette d'avertissement sur les parties des appareils qui peuvent être ouvertes. Si nécessaire, les appareils doivent être équipés de systèmes de verrouillage appropriés additionnels.*

## **D. Exigences imposées aux appareils de catégorie 2**

La catégorie 2 comprend les appareils conçus pour pouvoir fonctionner conformément aux paramètres opérationnels établis par le fabricant et basés sur un haut niveau de protection.

Pour les appareils, qui sont mis à disposition dans un environnement explosif suite à la présence de gaz, de vapeurs ou de brouillards, doivent présenter les exigences suivantes:

- *Les appareils doivent être conçus et fabriqués de façon à éviter les sources d'inflammation, même dans le cas de dérangements fréquents ou des défauts de fonctionnement des appareils dont il faut habituellement tenir compte.*
- *Les parties d'appareils doivent être conçues et fabriquées de façon à ce que les températures de surface ne soient pas dépassées même dans les cas où les risques résultent de situations anormales prévues par le fabricant.*

Pour les appareils, qui sont mis à disposition dans un environnement explosif suite à la présence de mélanges d'air avec des poussières doivent présenter les exigences suivantes:

- *Les appareils doivent être conçus et fabriqués de façon à éviter l'inflammation de mélanges d'air avec des poussières, même celle résultant de dérangements fréquents de l'appareil ou des défauts de fonctionnement des appareils dont il faut habituellement tenir compte.*
- *Les parties d'appareils doivent être conçues et fabriquées de façon à ce que les températures de surface ne soient pas dépassées même dans les cas où les risques résultent de situations anormales prévues par le fabricant.*
- *Pour autant que nécessaire, les appareils doivent être fabriqués de façon à ce que l'introduction ou l'évacuation de poussières ne puisse se produire qu'aux endroits des appareils prévus à cet effet. Les entrées de câbles et pièces de raccordement doivent aussi satisfaire à cette exigence.*

*Les appareils de la catégorie 2 doivent être conçus de manière telle que l'ouverture des parties d'appareils qui peuvent être des sources d'inflammation ne soit possible qu'en l'absence d'énergie ou par l'intermédiaire de systèmes de verrouillage appropriés. Lorsqu'il n'est pas possible d'inactiver les appareils, le fabricant doit apposer une étiquette d'avertissement sur les parties des appareils qui peuvent être ouvertes.*

## **E. Exigences imposées aux appareils de catégorie 3**

La catégorie 3 comprend les appareils conçus pour pouvoir fonctionner conformément aux paramètres opérationnels établis par le fabricant et assurer un niveau normal de protection.

Pour les appareils, qui sont mis à disposition dans un environnement explosif suite à la présence de gaz, de vapeurs ou de brouillards, doivent présenter les exigences suivantes:

- *Les appareils doivent être conçus et fabriqués de façon à éviter les sources d'inflammation prévisibles lors d'un fonctionnement normal.*
- *Les températures de surface qui apparaissent ne doivent pas, dans les conditions de fonctionnement prévues, dépasser les températures maximales de surface indiquées. Un dépassement n'est tolérable, dans des cas exceptionnels, que si le constructeur adopte des mesures de protection spéciales additionnelles.*

Pour les appareils, qui sont mis à disposition dans un environnement explosif suite à la présence de mélanges d'air avec des poussières doivent présenter les exigences suivantes:

- *Les appareils doivent être conçus et fabriqués de telle manière que les sources d'inflammation prévisibles lors d'un fonctionnement normal ne risquent pas d'enflammer les mélanges d'air avec des poussières.*
- *Les parties d'appareils doivent être conçues et fabriquées de façon à ce que les températures de surface ne soient pas dépassées même dans les cas où les risques résultent de situations anormales prévues par le fabricant.*
- *Les appareils, y compris les entrées de câbles et pièces de raccordement prévues, doivent être fabriqués en tenant compte des dimensions des particules de poussière, de manière à empêcher la formation de mélanges explosibles d'air avec des poussières ou de dépôts de poussière dangereux à l'intérieur.*

## 8.2.2 Mesures imposées par le RGIE

Avant l'introduction de l'AR Atex social, il y avait déjà des prescriptions réglementaires en ce qui concerne la détermination des zones avec un risque d'explosion et la suppression des sources d'ignition. Ces dispositions étaient reprises dans le RGIE (le Règlement Général sur les Installations Electriques), plus particulièrement aux articles 105 à 109 y compris en ce qui concerne les atmosphères explosives de gaz et aux articles 110 à 113y compris en ce qui concerne les atmosphères explosives de poussières.

Via l'AR du 4 juin 2008 modifiant le Règlement Général sur les Installations Electriques, ces dispositions ont été adaptées et ont été rendues conformes à l'AR Atex social.

Ci-dessus nous avons vu que l'AR Atex social demande d'établir un document relatif à la protection contre les explosions. En ce qui concerne les équipements de travail mis en service avant le 30 juin 2003, l'obligation d'appartenir à une certaine catégorie en fonction de la zone ne s'applique pas. Pour ces équipements de travail, l'employeur doit néanmoins pouvoir démontrer dans le document relatif à la protection contre les explosions que leur utilisation n'implique aucun danger d'explosion. En ce qui concerne les sources d'ignition de nature électrique, on peut se référer à la conformité avec les prescriptions du RGIE.

## **8.3 Identification des risques d'atmosphères explosives**

### **8.3.1 Zones autour des équipements**

Les zones autour des équipements sont une conséquence de la présence de sources de fuites possibles dans les équipements qui contiennent des substances qui, lors de leur libération, peuvent conduire à des atmosphères explosives. Pour chaque équipement, il faut examiner si des substances sont présentes qui, lors d'une libération, peuvent donner lieu à des atmosphères explosives. Ensuite pour ces équipements, les sources de fuite lors du fonctionnement normal seront identifiées. En fonction de l'activité de la source de fuite et des circonstances de ventilation, la zone autour de la source de fuite peut être déterminée.

#### **A. Identification des sources de danger d'explosion**

Les sources de danger d'explosion sont les équipements dans lesquels sont présentes des substances qui lors de leur libération peuvent donner lieu à une atmosphère explosive. Nous faisons ici abstraction de la question si de telles libérations sont possibles lors du fonctionnement normal et si les circonstances de ventilation permettent la formation d'une atmosphère explosive. Ces aspects sont analysés dans les prochaines étapes.

Les équipements suivants doivent être considérés comme des sources de danger d'explosion:

- les équipements qui contiennent des liquides avec un point éclair inférieur à la température maximale qui peut être attendue autour de l'équipement (dans les bâtiments de procédé, cette température peut être plus élevée que la température environnante maximale);
- les équipements qui contiennent des liquides à des températures supérieures à leur point éclair;
- les équipements qui contiennent des liquides qui, lors de leur libération, peuvent se vaporiser et des lors conduire à un nuage explosif de petites gouttelettes;
- les équipements qui contiennent des poussières qui, lors de leur libération peuvent conduire à un nuage explosif de poussières.

Lors de l'identification des sources de danger d'explosion, il est important d'être conscient de l'effet de faibles concentrations de substances facilement inflammables sur le point d'éclair. La présence d'une petite quantité d'une substance facilement inflammable peut induire que des mélanges d'hydrocarbures, dont la composante principale a un point éclair relativement élevé, puissent alors, lors de leur libération, quand même donner lieu à des atmosphères explosives.

La température qui doit être considérée autour de l'équipement sera, dans beaucoup de cas, la température ambiante maximale. Il est toutefois important d'avoir une attention particulière pour des situations spéciales:

- équipements qui sont placés dans un espace confiné et où peuvent régner des températures supérieures aux températures extérieures normales;
- des surfaces chaudes d'équipements qui peuvent échauffer les fuites de liquide à des températures supérieures à la température ambiante normale.

Si un équipement est une source de danger d'explosion ou non, dépend non seulement de la nature des substances et des conditions de procédé régnautes, mais aussi des facteurs environnants tels que la température et la présence de surfaces chaudes.

## **B. Identification des sources de fuite en fonctionnement normal**

Pour chaque équipement qui a été identifié comme une source de danger d'explosion, les sources de fuite en fonctionnement normal sont identifiées. Une source de fuite est un endroit où des substances peuvent être libérées. Le terme 'fonctionnement normal' a déjà été explicité ci-dessus.

Pour chaque source, le degré d'activité est déterminé. Le degré d'activité est une mesure de la probabilité que la source de fuite soit active, donc que les substances soient effectivement libérées. Il y a 3 degrés d'activité : 0, 1 et 2. Les principaux codes pour la détermination des zones donnent une description qualitative des degrés d'activité. Certains codes donnent des valeurs chiffrées indicatives pour le temps durant lequel une source est active. Un exemple d'un tel code est le "Area Classification Code for Installations Handling Flammable Fluids" (plus loin appelé "code EI") du britannique "Energy Institute" (avant appelé "Institute of Petroleum"). Certains codes donnent aussi des exemples concrets de sources de fuite et leur degré d'activité.

Une source de fuite de laquelle des substances peuvent être libérées continuellement ou pendant de plus longues périodes ou de laquelle, pendant une courte période mais fréquemment, des substances peuvent être libérées, nous l'appellerons une source continue et le grade d'activité 0 est attribué à de telles sources. Le code EI classe une source de fuite comme continue quand on attend qu'elle soit active pendant plus de 1000 heures par an. Quelques exemples des sources de fuite continues :

- une surface de liquide exposée à l'environnement (par exemple un bain ouvert);
- une ouverture d'évent sur un réservoir de stockage;
- une soupape de respiration qui est sollicitée assez fréquemment;
- les parois humides d'un réservoir à toit flottant.

Les exemples ci-dessus sont des sources de fuite qui libèrent les substances vers l'extérieur. La plupart des sources de fuite continues se trouvent dans les installations. Le zonage interne tombe toutefois à l'extérieur du scope de ce chapitre.

Une source de fuite de laquelle des substances se dégagent régulièrement ou pour laquelle la probabilité qu'une libération survienne est plutôt élevée, nous l'appellerons une source de fuite primaire ou une source de fuite avec le degré d'activité 1. Le code EI classe une source de fuite qui est active plus de 10 heures par an mais moins de 1000 heures par an comme une source primaire. Des exemples typiques des sources primaires sont :

- les endroits où des liaisons temporaires sont régulièrement découplées (flexibles, bras de déchargement);
- les garnitures des passages d'axes (dépendant de la qualité et de l'exécution de l'étanchéité);
- les équipements fragiles, tels que les regards et indicateurs de niveau non protégés;
- les points d'échantillonnage (dépendant de l'exécution et de la fréquence d'utilisation).

Des sources secondaires, avec un degré d'activité 2, sont des points possibles de fuite d'où une libération n'est pas probable et, si elle survient, sera de courte durée. Selon le code EI, ces sources sont actives moins de 10 heures par an. Une limite inférieure n'est pas donnée.

Des exemples de sources secondaires sont:

- les robinets et vannes;
- les brides, filetage et autres liaisons;
- les regards et indicateurs de niveau protégés;
- les garnitures des passages d'axes (dépendant de la qualité et de l'exécution de l'étanchéité).

L'identification des sources de fuite devrait être une occasion pour vérifier si on peut, par une adaptation de la conception, faire diminuer le degré d'activité ou éliminer complètement la source de fuite elle-même.

En ce qui concerne l'identification des sources de fuite, il faut encore remarquer que de nombreux codes pour la détermination proposent des dessins avec des zones pour des équipements typiques, comme des pompes, des réservoirs de stockage, des postes de déchargement, etc. De telles zones standards sont un bon point de départ, mais on doit quand même toujours vérifier si chaque équipement n'a pas de sources de fuite spécifiques dont on ne tient pas compte dans les standards. Se cache ici l'intérêt d'identifier les sources de fuite individuelles.

### **C. Détermination des circonstances de ventilation autour des sources de fuite**

Le temps pendant lequel une atmosphère explosive existe tout autour d'une source de fuite et donc la nature de la zone, ne dépendent pas uniquement du degré d'activité mais aussi de la manière dont la substance inflammable libérée se dilue dans l'atmosphère et est emportée en dehors de l'environnement de la source de fuite. La dilution et l'évacuation de la substance sont assurées par le mouvement de l'air, autrement dit, par la ventilation.

Pour pouvoir finalement déterminer la nature d'une zone, l'intensité ainsi que la disponibilité de la ventilation jouent un rôle important.

L'intensité est une mesure pour la capacité de la ventilation à diluer les substances libérées. Dans le standard IEC 60079-10 (« Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 10 : Classification ou hazardous areas ») trois niveaux d'intensité sont définis.

Tableau 8.2 : Définition des niveaux d'intensité de ventilation

Intensité	Description
Ventilation forte	La ventilation peut réduire pratiquement immédiatement la concentration à la source de fuite à une concentration en-dessous de la limite inférieure d'explosivité. Le résultat est une zone petite voire avec des dimensions négligeables.
Ventilation moyenne	La ventilation peut maîtriser la concentration, ce qui résulte en une situation stable. La concentration hors des limites de la zone reste en-dessous de la limite inférieure d'explosivité tandis que la source de dangers est active, et l'atmosphère explosive ne reste pas inutilement présente après que la libération ait été arrêtée.
Ventilation faible	La ventilation ne peut pas maîtriser la concentration aussi longtemps que la fuite perdure et/ou n'est pas suffisante pour prévenir qu'une atmosphère explosive subsiste après que la libération ait été arrêtée.

Dans la norme IEC 60079-10, une méthode pour pouvoir faire une estimation de la ventilation est aussi citée. Avec cette méthode, on peut examiner si le débit de la source de fuite, en relation avec la ventilation présente, est négligemment petit ou pas. Il faut remarquer que le but n'est pas de déterminer les dimensions des zones avec cette méthode. Le calcul de l'étendue d'une zone est une affaire complexe pour laquelle IEC 60079-10 fournit une information insuffisante. On peut utiliser les calculs de dispersion pour déterminer la dimension des zones. Ces calculs doivent évidemment être bien documentés.

La disponibilité de la ventilation est une mesure pour le temps pendant lequel la ventilation est active. Les trois niveaux de disponibilité de la ventilation sont décrits dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8.3 : Définition des niveaux de disponibilité de la ventilation

Disponibilité	Description
Bonne	La ventilation est présente pratiquement en continu.
Moyenne	La ventilation est jugée présente en conditions normales de fonctionnement. Des interruptions ont été admises si elles ne sont pas fréquentes et seulement pendant de courtes périodes.
Mauvaise	La ventilation qui ne répond pas aux critères d'une bonne ventilation ou d'une ventilation moyenne, mais pour laquelle il n'est cependant pas attendu qu'il y ait des interruptions pour une plus longue période.

## D. Détermination de la nature des zones

En se basant sur l'activité des sources de fuite identifiées et des conditions de ventilation à proximité de la source de fuite, le type de zone autour de la source de fuite peut être déterminé. Dans la norme IEC60079-10 sont reprises à cet effet des directives pratiques pour les mélanges de combustibles sous forme de gaz, de vapeurs ou de brouillard et d'air. Ces directives ont été résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8.4: La nature des zones suivant la norme IEC60079-10

Activité de source de fuite	Degré de ventilation						
	Haut			Moyen			Bas
	Disponibilité						
	Bon	Moyen	Mauvais	Bon	Moyen	Mauvais	Bon, moyen ou mauvais
Continu	(Zone 0 NE) Pas dangereux <sup>1)</sup>	(Zone 0 NE) Zone 2 <sup>1)</sup>	(Zone 0 NE) Zone 1 <sup>1)</sup>	Zone 0	Zone 0 + Zone 2	Zone 0 + Zone 1	Zone 0
Primaire	(Zone 1 NE) Pas dangereux <sup>1)</sup>	(Zone 1 NE) Zone 2 <sup>1)</sup>	(Zone 1 NE) Zone 2 <sup>1)</sup>	Zone 1	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 of Zone 0 <sup>3)</sup>
Secondaire <sup>2)</sup>	(Zone 2 NE) Pas dangereux <sup>1)</sup>	(Zone 2 NE) Pas dangereux <sup>1)</sup>	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 1 et même Zone 0 <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Zone 0 NE, 1 NE ou 2 NE indique une zone théorique qui, dans des circonstances normales, a une grandeur négligeable ("Negligible Extent").

<sup>2)</sup> Le domaine de la zone 2 causée par une émission secondaire peut s'étendre à l'extérieur d'une zone d'émission primaire ou continue. Dans ce cas, la distance la plus grande doit être choisie.

<sup>3)</sup> Cela sera une zone 0 si la ventilation est si faible et que l'émission est telle qu'en pratique, l'atmosphère explosive est quasi présente en continu (approchant d'une situation 'sans ventilation').

REMARQUE: "+" signifie "entourée de".

## E. Détermination de l'ampleur de la zone (mesures et forme)

Le domaine où un mélange explosif est présent, s'étend jusqu'à l'endroit où la substance inflammable s'est diluée par le brassage avec l'atmosphère jusqu'à atteindre la limite inférieure d'explosivité. Si plusieurs zones se superposent, alors la zone avec le plus faible numéro de rang est retenue. À moins qu'aussi bien de la poussière qu'un gaz/de la vapeur (mélange hybride) ne conduisent à une zone, dans un tel cas, pour les deux types de zone, le plus faible numéro de rang est retenu.

Un grand nombre de facteurs ont un impact sur la forme et l'étendue de la zone. Pour être complet, ces facteurs sont décrits dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8.5 : Facteurs d'influence sur l'étendue et la forme des zones pour les gaz, vapeurs et brouillards

Facteurs d'influence	Commentaires
Limite inférieure d'explosivité	Plus faible est la limite inférieure d'explosivité, plus étendue sera la zone. Théoriquement, aucune explosion ne peut avoir lieu à des concentrations supérieures à la limite supérieure d'explosivité. Pourtant une attitude conservatrice doit être tenue et l'entière de la zone à partir de la source de danger jusqu'à la frontière de la limite inférieure d'explosivité est considérée comme atmosphère dangereuse.
Densité relative gaz/vapeur vis-à-vis de l'air	Quand la densité de la substance combustible libérée dans l'atmosphère est plus grande que celle de l'air, alors celle-ci va descendre vers le bas et la zone de danger va s'étendre principalement au niveau du sol et être présente dans d'éventuelles zones plus profondes, telles que des puisards et des caniveaux. Quand la densité est plus faible que celle de l'air, la libération va monter et, dans les espaces confinées, la zone dangereuse s'étendra principalement contre le plafond (sauf si la ventilation est suffisante).
Tension de vapeur de la substance	Le degré d'évaporation d'un liquide dépend du rapport entre la tension de vapeur du liquide et la pression du milieu présente au-dessus. Plus grand est ce rapport, plus grand est le débit d'évaporation et donc plus grand est la quantité de substance combustible dans la phase vapeur. A cause de cela, l'étendue de la zone va augmenter. En plus, la tension de vapeur est fonction de la température du liquide. Lors d'une augmentation de température, la tension de vapeur d'un liquide et l'étendue de la zone augmente donc aussi. Si la température de liquide peut augmenter après sa libération (par exemple en contact avec une surface chaude), alors il faut en tenir compte.
Débit de fuite de la source de danger	Le débit de fuite de la source de danger est proportionnel à la vitesse d'écoulement. Celle-ci est, entre autres, déterminée par la pression à laquelle la substance combustible est présente. La vitesse d'écoulement a une influence supplémentaire sur la dimension de la zone : plus grand est le débit, plus grand est l'aspiration d'air (réduction de la zone), mais aussi plus grand est le travail de poussée de la substance libérée (augmentation de la zone). Ces deux facteurs ayant des effets antagonistes doivent être comparés. La plupart du temps, on peut supposer que, pour les gaz et les vapeurs plus lourds que l'air, la plus grande aspiration domine; et que pour les gaz et vapeurs plus légers que l'air, le travail de poussée domine. Pour les liquides, l'évaporation doit d'abord avoir lieu avant qu'une atmosphère explosive ne puisse apparaître. Pour les liquides à une température inférieure à leur point d'ébullition et à la pression atmosphérique, l'évaporation se fait principalement par la gazéification à la surface du liquide. Par conséquent, les dimensions de la flaque liquide qui est formée jouent un rôle important. Pour les liquides à une température supérieure à leur point d'ébullition, on trouve deux sources: l'initiale (le liquide qui s'évapore immédiatement lors de la libération) et la secondaire (le liquide qui s'évapore à partir de la flaque formée). Si le liquide est libéré sous forme de brouillard, la surface de contact est très importante, ce qui rend encore l'évaporation plus forte.
Ventilation	Comme déjà cité ci-dessus, les dimensions des zones diminuent avec l'augmentation de la ventilation.
Présence d'obstacles	La présence d'obstacles dans l'environnement de la source de fuite peut gêner la ventilation (et donc augmenter la zone dangereuse). Les obstacles peuvent évidemment aussi permettre que la présence de la substance combustible reste limitée dans un certain espace (par exemple digues, murs, ...).



Tableau 8.6 : Facteurs d'influence sur l'étendue et la forme des zones pour les poussières

Facteurs d'influence	Commentaires
Limite inférieure d'explosivité	Plus faible est la limite inférieure d'explosivité, plus étendue sera la zone. Théoriquement, aucune explosion ne peut avoir lieu à des concentrations supérieures à la limite supérieure d'explosivité. Pourtant une attitude conservatrice doit être tenue et l'entière de la zone à partir de la source de danger jusqu'à la frontière de la limite inférieure d'explosivité est considérée comme atmosphère dangereuse.
Grandeur des particules	Au fur et à mesure que les dimensions des particules diminuent, plus stable sera le nuage de poussière (vitesse d'abattement des particules plus faible) et donc l'espace dans lequel une atmosphère explosive est présente, grandit. En plus la sensibilité à l'ignition augmente si la dimension des particules diminue.
Ventilation	D'une part, un plus grand degré de ventilation va diluer plus rapidement un nuage de poussière jusqu'à la limite inférieure d'explosivité et donc réduire la zone. D'autre part il est possible que la substance errante soit transportée plus loin avant d'être abattue sur une surface. À cause de cela, aussi bien le nombre que les dimensions des sources de danger, seront plus importants, ce qui peut donc avoir comme conséquence un agrandissement de la zone dangereuse.

Pour déterminer les dimensions et la forme des zones, en principe, tous les facteurs qui ont une influence doivent être examinés d'une façon judicieuse. Aussi bien le débit de la source de danger que la diffusion et la dilution de la substance inflammable libérée peuvent être déterminés par calcul, mesurage ou estimation. Mais effectuer cela séparément pour chaque source de danger exige un effort énorme et, dans la plupart des cas, est considéré comme pratiquement infaisable.

Il existe plusieurs normes et codes de bonne pratique qui donnent une division en zones pour une série de cas type. Ces normes et codes de bonne pratique peuvent être utilisés pour la division des espaces dangereux en zones, mais ils doivent être appliqués d'une façon judicieuse. L'étendue des zones est déterminée par un certain nombre de facteurs; la concrétisation pratique peut différer d'une norme ou d'un code de bonne pratique à l'autre. En plus il n'est pas tenu compte en détail de chaque facteur et on ne peut pas toujours déduire de la norme ou du code de bonne pratique de quels facteurs on n'a tenu compte ou pas. Si une certaine norme ou code de bonne pratique ne tient pas compte de tous les facteurs, l'étendue de la zone sera alors généralement choisie de façon conservatrice.

Lors de l'utilisation de normes ou de codes de bonne pratique, il est très important d'être conséquent. La combinaison de différentes normes pour limiter les zones au minimum, n'est pas une pratique acceptable. Si l'on s'écarte quand même d'une norme ou d'un code de bonne pratique choisi, alors on doit argumenter clairement pourquoi cela est nécessaire.

### 8.3.2 Zones dans les systèmes de recueil

Dans les systèmes de recueil, tels que les encuvements, les puisards, les caniveaux et les canaux d'évacuation, des atmosphères explosives peuvent être formées si des substances y aboutissent à des températures au-dessus de leur point d'éclair. Par simplicité, nous parlerons ensuite de « substances dangereux en cas d'incendie ». Le fait que des substances dangereuses en cas d'incendie peuvent aboutir dans un système de recueil, dépend bien entendu, en premier lieu, du contenu des équipements dont les fuites sont récupérées et évacués.

En plus on doit aussi tenir compte de la possibilité que des substances puissent aboutir dans des systèmes de recueil via les drainages ou le nettoyage des équipements et lors de certains travaux d'entretien.

### 8.3.3 Zones dues aux accumulations de poussières

Les accumulations de poussières se présentent généralement dans des zones où la ventilation est restreinte. Un déplacement d'air soudain peut diffuser les particules de poussières dans l'air et donner lieu à un nuage de poussière explosif (bien entendu dépendant des propriétés de la poudre).

Un scénario typique est une explosion limitée qui fait soulever les couches de poussières déposées entraînant la création d'un grand nuage de poussière. Celui-ci est alors enflammé par les restes brûlants de la première explosion.

Pour l'identification de ces sources de danger d'explosion, on peut partir d'un aperçu de tous les endroits (locaux, espaces) dans lesquels des poudres explosives sont présentes. Pour chaque endroit, on peut alors évaluer si des poudres peuvent s'accumuler. Par des nettoyages périodiques, on doit cependant limiter le plus possible l'accumulation de poudres.

### 8.3.4 Dessins de zonage

Dans le RGIE est reprise l'obligation de reprendre les dimensions géographiques des zones sur un ou plusieurs plans de zonage. Un rapport de zonage doit également être établi, dans lequel les données à la base de la détermination des zones et de leur étendue doivent être mentionnées. Ce rapport doit donner une justification de la nature et de la forme des zones.

Si une installation est décrite sur un grand nombre de plans, alors les équipements sont regroupés au mieux dans des ensembles logiques qui peuvent se retrouver sur un ou plusieurs plans. Au lieu d'une liste générale des plans connexes par équipement, il vaut mieux alors fractionner cette liste en fonction de ces ensembles logiques. De cette façon, les équipements peuvent toujours être facilement retrouvés sur les plans.

On parle ici de plans, étant donné que souvent un seul plan ne suffit pas pour obtenir une image claire des zones. Pour ce faire, une vue aérienne est certainement nécessaire ainsi qu'une ou plusieurs vues de profil (coupes). De même un plan d'ensemble est aussi important. Il se peut que dans une certaine installation, aucune source de fuite ne soit présente, mais que la zone d'une source de fuite d'une autre installation s'étende jusqu'à cette installation. Il est important d'avoir ici une image relative aux sources d'ignition possibles dans cette installation.

En plus du fait que la représentation sur un plan reste une obligation dans le cadre du RGIE, cela permet aussi d'avoir une représentation claire de quelles zones sont présentes à quel endroit. C'est important si, par exemple, des travaux doivent être effectués. Pour l'exécution d'une analyse de risques en ce qui concerne ces activités, il est important de savoir si les travaux à réaliser tombent ou non dans une zone, étant donné que cela peut influencer les mesures à prendre.

## **8.4 Evaluation des risques et spécification des mesures**

Comme commentés ci-dessus, les exigences auxquelles les appareils qui se trouvent établis dans une zone doivent satisfaire, sont déterminées dans la réglementation. Nous pouvons faire une distinction pour les appareils qui ont été mis à la disposition des travailleurs pour la première fois respectivement avant et après le 30 juin 2003.

### **A. Appareils mis en service avant le 30 juin 2003**

Les appareils mis à disposition des travailleurs pour la première fois avant le 30 juin 2003 doivent satisfaire à la partie de A de l'annexe II de l'AR Atex social. Cette annexe stipule entre autres que :

- on doit montrer que lors de l'utilisation, « aucun danger d'explosion » n'est lié. L'argumentation à ce sujet doit être reprise dans le document relatif à la protection contre les explosions;
- toutes les mesures nécessaires doivent être prises pour assurer que le lieu de travail, les équipements de travail et tout dispositif de raccordement associé mis à la disposition des travailleurs, d'une part ont été conçus, construits, montés et installés, et, d'autres part, sont entretenus et utilisés de manière à réduire au maximum les risques d'explosion; si néanmoins une explosion se produit, tout doit être fait pour en maîtriser, ou réduire au maximum, la propagation sur le lieu de travail et/ou dans les équipements de travail.

Ces prescriptions sont très générales. Les services d'inspection Seveso recommandent de suivre pour ces appareils la même méthode de travail que pour les appareils mis en service après le 30 juin 2003 pour lesquels une déclaration de conformité et/ou un marquage CE n'est pas disponible.

### **B. Appareils mis en service après le 30 juin 2003**

Les appareils qui, pour la première fois, ont été mis en service après le 30 juin 2003 (et qui ont donc été mis à la disposition des travailleurs) doivent être en accord avec les catégories déterminées dans l'AR Atex économique.

Quand ces appareils sont accompagnés d'une déclaration de conformité, telle que prévue à l'annexe 10 de l'AR Atex économique et sont pourvus du marquage CE tel que prévu à l'article 13 de cet AR, duquel il ressort qu'il appartient à la catégorie adéquate (conformément à la zone), on peut alors déduire que l'appareil satisfait aux exigences de l'AR Atex économique.

Quand une déclaration de conformité CE et un marquage CE ne sont pas disponibles pour l'appareil (par exemple parce qu'il a été assemblé ou adapté par l'employeur lui-même), alors l'employeur doit lui-même effectuer une analyse de la concordance de l'appareil avec la catégorie souhaitée.

Cela signifie qu'en premier lieu, toutes les sources de danger possibles dans l'appareil doivent être identifiées. Un peu plus haut, une liste des sources de danger qui peut être utilisée comme check-list, a été donnée.

Ensuite on doit confronter l'appareil aux exigences essentielles de sécurité et de santé concernant la conception et la construction des appareils et des systèmes de sécurité visés pour l'utilisation aux endroits où le danger d'explosion peut régner. Ces exigences

sont reprises à l'annexe II de l'AR Atex économique. Un appareil établi dans une zone doit satisfaire aussi bien aux exigences générales qui sont imposées à tous appareils et qui sont décrites dans la partie 1 de l'annexe II, qu'aux exigences spécifiques en fonction de la catégorie, reprises dans la partie 2 de cette annexe. Lors de cette analyse, on peut aussi utiliser la norme européenne EN 15198:2007 « Méthode pour l'évaluation de risques d'inflammation des appareils et composants non-électriques destinés à être utilisés en atmosphères explosives ».

Pour les sources d'ignition de nature électrique, ils doivent toujours satisfaire aux prescriptions du RGIE. La conformité avec le RGIE doit ressortir de l'analyse de conformité telle que décrite aux articles 270 à 272 du RGIE.

# 9 Protection contre l'incendie

## **9.1 Risques de dommages dus aux incendies**

### **9.1.1 Substances inflammables**

Dans ce chapitre, nous utiliserons le terme "substances inflammables". Soit, en l'occurrence, les substances qui peuvent s'enflammer en cas de libération.

Les gaz sont inflammables s'ils sont combustibles. L'inflammabilité est déterminée par les propriétés intrinsèques du gaz.

Le fait qu'un liquide soit ou non inflammable ne dépend pas uniquement de ses propriétés intrinsèques, mais aussi des conditions de pression et de température auxquelles il est présent dans l'installation, et aussi de l'environnement dans lequel le liquide est libéré.

Les liquides avec un point d'éclair égal ou inférieur à la température ambiante sont inflammables. Dans les unités situées à l'intérieur, il faut tenir compte de la température pouvant effectivement être atteinte dans le bâtiment ou le local concerné.

On peut également qualifier d'inflammables les liquides présents dans l'installation à des températures supérieures à leur point d'éclair, même si ce point d'éclair est inférieur à la température ambiante. Lors de la libération, l'évaporation peut en effet être suffisante pour donner lieu à une concentration de vapeurs explosives au-dessus du liquide.

Enfin, il faut également tenir compte de la présence de surfaces chaudes que le liquide pourrait atteindre. Les surfaces chaudes peuvent en effet facilement réchauffer une fine couche de liquide et, si la température du point d'éclair est dépassée, il pourra y avoir inflammation.

### **9.1.2 Types de feux**

#### **A. Feu de flaque**

Lorsqu'une flaque d'un liquide inflammable s'enflamme, on parle d'un feu de flaque. Les feux de flaque peuvent aussi survenir lorsque des gaz liquéfiés sous pression s'échappent. Une partie du gaz se vaporisera et une autre fraction formera une flaque de liquide.

Les feux de flaque peuvent, en fonction des quantités libérées, durer longtemps et exposer les équipements proches à des rayonnements de chaleur importants.

Si la fuite survient dans un équipement qui se situe au-dessus d'autres équipements, par exemple dans une structure portante ouverte, le liquide s'écoulera sur les porteurs de dommages situés en-dessous. L'inflammation générera alors un feu qui enveloppera complètement les porteurs de dommages. En anglais, on parle dans ce cas de "engulfing fires".

## B. Feu de torche (jet fire)

Lorsqu'un liquide inflammable ou un gaz combustible s'échappe sous pression d'une ouverture relativement petite, l'inflammation peut prendre la forme d'une torche ("jet fire").

Les feux de torche produisent des contraintes calorifiques très importantes dans une zone relativement petite.

## C. Feu de nuage (flash fire)

Si un nuage inflammable s'enflamme, il se produira soit un feu de nuage ("flash fire"), soit une explosion de nuage gazeux ("vapor cloud explosion"). La survenance de l'un ou l'autre phénomène dépend de la vitesse à laquelle le front de flamme se transmet. Si cette vitesse est relativement basse, il n'y aura aucune surpression significative et on parlera dans ce cas d'un feu de nuage. Par contre, lors de vitesses élevées, des ondes de pression seront générées et il sera dans ce cas question d'une explosion de nuage gazeux. L'accélération du front de flamme est favorisée par les turbulences. Ces turbulences peuvent être la conséquence de l'interaction entre le front de flamme et les obstacles qu'il rencontre ou être induites au nuage gazeux lors de sa libération, par exemple lorsque cette libération se déroule de manière explosive ou a lieu sous haute pression.

Les feux de nuage sont relativement courts. La contrainte thermique qu'ils peuvent exercer sur les équipements est généralement trop faible pour occasionner des dégâts substantiels aux installations. Les hommes peuvent par contre subir des brûlures très graves, voire mortelles lors de ces feux de nuage.

Lorsqu'un nuage enflammé reste encore en contact avec la source de fuite, un feu de torche peut naître à la hauteur de la source de la fuite.

## D. Boule de feu

Une boule de feu est un feu intense, de la forme d'une boule qui survient lorsqu'une grande quantité de gaz combustible ou de liquide liquéfié sous pression se libère et s'enflamme immédiatement. Une boule de feu est un phénomène caractéristique qui dure entre 5 et 20 secondes, pour lequel le risque de dommages provoqués par le feu aux équipements est relativement faible. Les dommages corporels peuvent par contre être mortels.

Un cas particulier de boule de feu est celui qui survient dans un cas de BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). Un BLEVE est généralement la conséquence d'un feu autour d'un équipement contenant des gaz combustibles liquéfiés. Les fortes températures générées peuvent faire éclater les parois en acier d'un équipement et libérer ainsi la pression contenue dans l'équipement. S'en suit alors une inflammation immédiate des gaz libérés. Le potentiel de dommages atteint lors de ce phénomène sur l'installation de procédé est surtout imputable aux fragments produits lors de l'explosion du contenant.

## E. Feux de solides

Voici quelques exemples de feux de solides pouvant survenir dans l'environnement d'un procédé:

- emballages, palettes;
- bâtiments construits en matériaux combustibles;



- matières premières, produits intermédiaires ou produits finis solides combustibles;
- broussailles, herbes, arbres;
- matériaux d'isolation;
- poudres métalliques combustibles.

Les matériaux d'isolation ne doivent pas toujours eux mêmes être constitués de matériaux combustibles pour générer un risque de feu. Des fuites de liquides combustibles dans le matériau d'isolation lui-même peuvent provoquer un feu de l'isolant. La dispersion du liquide dans le matériau d'isolation crée une très grande surface de contact, ce qui diminue de manière drastique la température d'auto-inflammation.

### 9.1.3 Porteurs de dommages possibles

#### A. Les hommes

A proximité d'un feu, le transfert de la chaleur vers l'homme a lieu essentiellement par rayonnement thermique. L'exposition à un rayonnement thermique peut conduire à des brûlures et faire fondre ou enflammer les vêtements.

Lors d'une exposition d'assez longue durée, la peau peut déjà subir des dommages à partir d'environ 45°C. Au delà de 70°C, les brûlures sont quasi instantanées.

#### B. Les équipements

L'enveloppe de la plupart des équipements est faite d'acier. Lors de l'exposition à des températures élevées, l'enveloppe peut être endommagée et libérer son contenu. Lorsque ces équipements contiennent des substances inflammables, le feu se propagera. Les gaz combustibles liquéfiés peuvent donner naissance à un BLEVE et à une boule de feu.

Certains équipements ne contiennent pas de quantités importantes de substances dangereuses, mais jouent néanmoins un rôle de soutien significatif. Pensons par exemple aux compresseurs d'air ou aux scrubbers destinés au traitement des effluents gazeux. Ces équipements endommagés ne libèrent peut être pas directement de nouvelles substances dangereuses, mais leur dégradation pourrait avoir des conséquences sur la sécurité et l'environnement.

Outre les équipements fixes, il faudra également analyser les risques de dommages qu'un feu peut provoquer aux camions-citernes, aux wagons-citernes, aux bateaux et aux autres moyens de transport.

#### C. Les structures portantes

Les structures portantes sont des constructions ouvertes, le plus souvent érigées en poutrelles d'acier ou de béton, auxquelles sont fixés les équipements. Les structures portantes en acier sont très vulnérables en cas d'exposition au feu et au rayonnement thermique.

Lors de l'examen d'une structure portante, il est important de tenir compte de chaque élément de la structure portante. Il est en effet possible que certains éléments soient exposés à un feu significatif et d'autres pas. Pour les besoins de l'analyse de risques, les grandes structures portantes peuvent être divisées par étages ou par zones en fonction du danger d'incendie.

## D. Les bâtiments

Sur le site d'une entreprise, nous pouvons rencontrer différents types de bâtiments comme par exemple:

- les bâtiments administratifs;
- les salles de contrôle;
- les baraquements des contractants;
- les bâtiments abritant les installations de procédés;
- les entrepôts;
- les ateliers;
- les bâtiments abritant les pompes

Les bâtiments peuvent être menacés par un incendie aux alentours ou par un incendie naissant à l'intérieur-même du bâtiment.

Le feu dans un bâtiment constitue une menace pour le personnel présent et pour les équipements éventuellement présents ainsi que pour tout autre équipement critique.

## E. Chemins de câbles

Les câbles sont utilisés dans les installations pour distribuer l'énergie électrique ainsi que pour le contrôle et la sécurité. Le câblage part le plus souvent d'une place centrale vers d'autres points de distribution, au sein même de l'installation, par des chemins de câbles. Si un câblage est défectueux, on perd l'énergie électrique ainsi que le contrôle des parties de l'installation touchées, ce qui, en soi, peut entraîner des libérations de substances dangereuses et une escalade de la situation.

## F. Utilités

La perte d'utilités aura bien entendu un impact sur le fonctionnement de l'installation de procédé. Pour chaque approvisionnement en utilité, on devra déterminer si l'impact est important ou non pour la sécurité.

Des utilités typiques sont:

- sous-stations électriques
- transformateurs
- générateurs d'électricité
- unités d'air comprimé
- tours de refroidissement
- tuyauteries d'eau de refroidissement.

## **9.2 Mesures pour limiter les dommages dus aux incendies**

### **9.2.1 Distances de sécurité**

La localisation des équipements et leur distance réciproque sont des mesures importantes pour limiter les dommages dus aux incendies. Les distances de sécurité contribuent de deux manières à la diminution du potentiel de danger d'un incendie:

- le rayonnement thermique est inversement proportionnel à la distance au feu à la puissance trois;
- la propagation d'un feu via une fuite de liquide d'une installation vers une autre est rendue plus difficile.

L'espace complémentaire disponible pour la lutte contre le feu constitue un avantage supplémentaire à une grande distance entre les installations.

La mise en œuvre des distances de sécurité est surtout d'application lors de la construction de nouvelles installations et de nouveaux équipements.

### **9.2.2 Ecrans anti-feu**

Une première application des écrans anti-feu réside dans le compartimentage des bâtiments. Les sols, murs et plafonds sont conçus avec une certaine résistance au feu afin d'empêcher l'extension du feu en dehors d'un local ou au moins de la ralentir.

Une autre application consiste au placement d'un mur ou d'un écran afin de protéger certains porteurs de dommages des flammes et de l'apport de chaleur d'un éventuel incendie avoisinant. Le placement d'un mur entre deux pompes ou compresseurs situés côte à côte en constitue un exemple.

Les écrans anti-feu sont également utilisés afin de protéger la partie inférieure des faisceaux de câbles électriques contre le feu. Ces écrans anti-feu sont généralement en acier et sont protégés au moyen d'un refroidissement à l'eau ou d'une couche protectrice ignifuge. En l'absence de protection active ou passive, ces écrans ne peuvent protéger les chemins de câbles uniquement pendant un temps limité.

### **9.2.3 Couches de protection ignifuges**

Une couche de protection ignifuge est une forme de protection passive apportée sur ou autour d'une surface dans le but de limiter l'apport de chaleur vers cette surface, afin d'en retarder ainsi le réchauffement.

Une couche de protection ignifuge peut être apposée sur les équipements métalliques (généralement en acier) et sur les structures portantes afin qu'ils conservent plus longtemps leur intégrité lors de l'exposition à la chaleur d'un incendie. L'acier perd en effet sa résistance lors de températures élevées. L'application d'une couche protectrice ignifuge permet de disposer de temps supplémentaire pour combattre et étouffer le feu avant que l'équipement ou la structure portante ne s'effondre. Une couche de protection ignifuge peut également être combinée à un refroidissement à l'eau.

Une couche protectrice ignifuge est surtout efficace dans la phase initiale d'un incendie et permet de disposer de temps pour prendre des mesures pour combattre le feu, comme par exemple la fermeture de la vanne approvisionnant le feu en matière combustible, ou la mise en œuvre de moyens d'extinction.

Une caractéristique essentielle d'une couche de protection ignifuge est la résistance au feu (en Anglais: "Fire Resistance Rating"). C'est le temps durant lequel elle offre une protection. La résistance au feu dépend du type et de l'épaisseur de la couche de protection apposée. Des valeurs typiques de résistance au feu varient entre 1 et 4 heures.

Une couche de protection ignifuge peut prendre différentes formes. En voici quelques possibilités:

- isolation thermique ignifuge, maintenue en place par un manteau d'acier;
- panneaux isolants fixés mécaniquement sur la surface à protéger;
- couches de béton;
- couches protectrices qui gonflent lors de l'exposition à la chaleur formant ainsi une couche isolante;
- couches protectrices absorbant la chaleur par sublimation ou en réagissant chimiquement;
- feuilles ignifuges enroulant la surface à protéger.

Chacune des techniques énumérées présente ses avantages et inconvénients. Nous vous renvoyons à ce propos à la littérature spécialisée et aux informations que les fabricants de couches de protection mettent à disposition.

L'isolation thermique conçue uniquement afin d'éviter les pertes de chaleur vers l'extérieur, n'a généralement aucune fonction ignifuge. Ce type d'isolation est de plus, souvent maintenue en place par un revêtement en aluminium, qui lui non plus n'est pas résistant au feu.

Une couche de protection ignifuge est aussi utilisée pour la protection des câbles électriques et du câblage. Ici aussi, la couche de protection peut prendre différentes formes:

- matériau d'isolation des câbles ignifuge;
- couches de protection ignifuges pulvérisées sur les câbles;
- feuilles ignifuges enroulées autour des câbles.

Un avantage important de ces couches protectrices est le fait qu'elles soient déjà présentes au moment où le feu survient. La fiabilité des protections passives (à condition qu'elles soient bien mises en place) est beaucoup plus grande que celle des protections actives.

## 9.2.4 Joints résistants au feu

Les joints résistants au feu doivent empêcher que les connexions bridées exposées au feu ne fuient rapidement.

Il existe différents joints résistants au feu sur le marché qui disposent d'un certificat "fire safe", suivant les mêmes normes que celles utilisées pour les vannes résistantes au feu.

## 9.2.5 Refroidissement à l'eau

L'aspersion d'une surface avec de l'eau génère un effet de refroidissement car l'eau capte une partie de la chaleur. Par son effet refroidissant, l'eau peut aussi contribuer à l'extinction de l'incendie. Dans la plupart des cas, les systèmes de refroidissement ne sont pas conçus dans l'idée d'éteindre l'incendie, mais bien pour conserver l'intégrité du porteur de dommages jusqu'à ce que l'incendie soit éteint à l'aide d'autres moyens.

Le refroidissement peut être réalisé à l'aide de système d'aspersion fixes, des canons à eau fixes ou avec des moyens d'extinction mobiles. Les systèmes d'aspersion fixes présentent l'avantage qu'ils peuvent être mis en action beaucoup plus rapidement et qu'ils n'impliquent pas la présence d'homme dans le voisinage de l'incendie.

Seuls une couche protectrice ignifuge ou un rideau d'eau ciblé peuvent offrir une protection contre les feux de torche. L'acier non protégé exposé à un feu de torche peut déjà fluer après 10 minutes. Ceci hypothèque sérieusement l'applicabilité pratique d'une protection par refroidissement à l'eau des feux de torche. Il n'est en effet pas évident de rassembler en si peu de temps les hommes et le matériel nécessaires sur place pour mettre en place les jets d'eau.

Le refroidissement à l'eau est une mesure active dont les trois composants sont:

- détection d'un incendie ou d'une atmosphère inflammable;
- décision de mettre en route le refroidissement à l'eau;
- le fonctionnement du système d'aspersion d'eau.

La détection d'un feu peut avoir lieu par le personnel ou via un système de détection automatique. La détection automatique permet d'activer automatiquement le refroidissement à l'eau. Une alternative consiste à l'activation d'une alarme et à l'activation du refroidissement par le personnel.

L'activation automatique présente l'avantage d'être rapide. Une intervention humaine peut être conseillée lorsqu'il faut éviter de gaspiller de l'eau à cause d'une réserve limitée en eau ou d'une capacité de pompage limitée.

Un système de détection automatique peut être basé sur la détection d'une atmosphère explosive ou sur la détection d'un feu. La détection d'une atmosphère explosive présente l'avantage de pouvoir intervenir de manière préventive. Par contre, son désavantage est que, si le feu naît avant qu'une atmosphère explosive ne soit détectée, la détection automatique est devenue inefficace. La détection d'un feu peut se faire de différentes façons: via le rayonnement produit (infrarouge ou ultraviolet), via la chaleur produite (par exemple via les têtes de fusion d'une installation de sprinklage) ou via la fumée dégagée.

## 9.2.6 Lutte contre le feu

La lutte contre le feu peut uniquement être considérée comme une mesure de protection si la lutte contre le feu est en mesure d'étouffer le feu avant que le porteur de dommage ne flanche. On disposera en principe donc de plus de temps pour attaquer le feu lorsque le porteur de dommage est protégé par une couche protectrice ignifuge que pour un porteur de dommages non protégé. Les couches de protection ignifuges n'offrent toutefois pas une protection pendant un temps illimité et elles peuvent uniquement être considérées comme efficaces que si l'on arrive à étouffer le feu dans le temps qu'elles offrent une protection.

Les mesures pour combattre le feu sont des mesures actives. Pour que ces mesures puissent remplir leur fonction de sécurité, les composants suivants doivent toujours en faire partie:

- détection de l'incendie;
- la décision de mettre en œuvre les moyens d'extinction;
- la mise en œuvre des moyens d'extinction.

En ce qui concerne la détection d'un incendie et la décision de mettre en œuvre les moyens d'extinction, nous vous renvoyons aux explications relatives au refroidissement à l'eau.

Pour l'extinction de feux de liquides ou de gaz inflammables, des systèmes fixes d'aspersion d'eau seront, dans la plupart des cas, inefficaces. Les systèmes d'aspersion d'eau servent en premier lieu à refroidir les équipements. L'eau agira ensuite en chassant le liquide en feu fuyant du porteur de dommage. Pour éteindre efficacement l'incendie, il sera généralement nécessaire de mettre en œuvre de la mousse d'extinction, des poudres d'extinction ou une quantité massive d'eau pendant la lutte manuelle contre l'incendie.

## **9.3 Identification des risques des dommages lors de feux**

### **9.3.1 Identification des porteurs de dommages**

L'objectif de l'analyse décrite ici est de déterminer quelles mesures doivent être prises pour limiter les dommages dus aux incendies. Nous réalisons cette analyse pour chacun des porteurs de dommages possibles. Nous avons déjà donné ci-dessus un aperçu des principaux types de porteurs de dommages.

#### **Homme**

Comme porteur de dommages potentiel, on peut identifier:

- les personnes exécutant une tâche particulière, à cause de laquelle ils encourent un risque plus élevé d'exposition à un incendie, comme par exemple la réalisation de manipulations au cours desquelles des liquides facilement inflammables ou des substances pyrophoriques peuvent être libérées
- les présentes dans certaines zones où il y a un risque plus élevé d'incendie; par exemple les personnes employées dans les installations

#### **Equipements**

On pourrait faire une sélection des équipements sur bas de la nature et de la quantité des substances présentes. La protection contre les incendies est surtout pertinentes pour des équipements qui en cas de ruine dans un incendie, pourraient permettre une escalade importante de l'incendie ou qui pourraient engendrer un risque supplémentaire important, tel que des risques d'intoxication ou de pollution de l'environnement.

#### **Structures portantes**

Lorsqu'une structure portante s'effondre, cela signifie généralement une escalade importante de la situation d'urgence. C'est pourquoi il est recommandé de considérer toutes les structures portantes dans l'analyse. Pour de très grandes structures portantes, on peut envisager de la diviser en différentes sections (par exemple par étage).

#### **Bâtiments**

Des bâtiments où des substances inflammables sont stockées ou traitées, sont dans tous les cas à examiner.

Le fait de retenir d'autres bâtiments comme porteur de dommage dans l'analyse est surtout fonction de la proximité de sources (externes) de danger d'incendie et de la fonction du bâtiment (taux d'occupation, présence d'équipements critiques).

#### **Chemins de câbles**

Une analyse des dommages possibles dus aux incendies sur les chemins de câble suppose que l'on identifie ces chemins de câbles. Le cas échéant, on peut diviser le chemin de câbles en différentes sections, en fonction du trajet. Ainsi, on pourrait faire une distinction entre la partie du chemin de câbles qui traverse une installation et la partie en dehors des limites de l'installation.

## **Utilités**

Le fait de devoir réaliser une analyse des dommages possibles dus aux incendies sur certaines utilités, dépend de l'impact sur la sécurité de la perte de ces utilités.

### **9.3.2 Identification des sources de danger de feu**

La prochaine étape dans l'analyse est l'identification des sources de danger de feu pour chaque porteur de dommages.

#### **A. Sources de danger de feu pour des équipements**

Chaque équipement contenant des substances inflammables doit être considéré comme une source de danger de feu pour lui-même. Une fuite limitée de substances inflammables peut mener à un feu et des dommages conduisant eux-mêmes à des nouvelles libérations ou suite auxquels la fuite existante est amplifiée.

Les équipements renfermant des substances inflammables et des sources de feux de solides se trouvant à proximité constituent d'autres sources possibles de danger de feu. Bien entendu, les récipients mobiles (fûts, bidons, ...) et les récipients de transport (camions-citernes, wagons-citernes, bateaux) contenant des substances inflammables constituent également une source de danger de feu.

Les sources de danger pour lesquels il est clair qu'elles ne peuvent pas mener à un incendie conduisant à la ruine du porteur de dommage (de part la quantité limitée de combustible ou à cause de la grande distance) ne doivent toutefois pas être considérés.

Les sources de danger de feu dans le voisinage de porteur de dommage et qui ne peuvent être exclues avec certitude, doivent être reprises dans l'analyse ultérieure. Ou bien on considère d'une manière conservatrice qu'ils peuvent donner lieu à un feu destructeur, ou bien une analyse plus détaillée des scénarios de feu doit permettre de les exclure.

#### **B. Sources de danger de feu pour des structures portantes.**

Les sources de danger de feu possibles pour les structures portantes doivent tout d'abord être recherchées dans les structures elles-mêmes. Si, dans les structures portantes, des équipements contenant des substances inflammables sont présents, une fuite peut alors mener à un feu de flaque ou à un feu de torche menaçant la structure portante.

Des étages inférieurs peuvent être exposés à un feu de flaque au rez-de-chaussée. Lorsque les sols des étages sont constitués de grilles, une fuite de liquide situé à un étage supérieur s'écoulera par les grilles vers le bas et sur les équipements situés aux étages inférieurs ou arriveront au niveau du sol. Des feux de flaque sont donc uniquement attendus au niveau du sol. Lorsque les sols des étages sont pleins, des feux de flaque sont aussi à redouter au niveau des étages. Des fuites de liquides inflammables à un niveau plus élevé peuvent également donner lieu à un feu tridimensionnel ou à un feu de torche.

Des sources de danger de feu comme des équipements contenant des substances inflammables ou des matières solides combustibles peuvent aussi se trouver dans le voisinage externe de la structure portante.



## C. Sources de danger de feu pour des bâtiments

Tout comme pour les structures portantes, les sources de dangers de feu peuvent provenir aussi bien de l'intérieur que de l'extérieur du bâtiment.

Tous les équipements contenant des substances inflammables, de même que toutes les substances solides combustibles, érigés dans un bâtiment, doivent être retenus comme sources de danger de feu.

## D. Sources de danger de feu pour le câblage électrique

Des dommages aux chemins de câbles électriques peuvent être occasionnés par:

- des feux de flaque d'une fuite de liquide en-dessous des chemins de câbles;
- des feux à proximité des chemins de câbles;
- fuite de liquide enflammée qui goutte sur les chemins de câbles;
- un feu prenant naissance dans le chemin de câbles lui-même, par exemple suite à une surcharge ou une surchauffe.

Une approche simple et conservatrice consiste à supposer que les sections de chemins de câbles traversant une installation contenant des substances inflammables sont, dans leur totalité, exposé au danger de feu.

## E. Sources de danger de feu pour les hommes

Une différence peut être faite entre, d'une part les risques généraux de feu relatifs à une certaine zone, et d'autre part, les risques spécifiques propres à l'exécution d'une certaine tâche.

La probabilité d'avoir un feu dans certaines zones augmente proportionnellement à la quantité de substances inflammables présente. Si nécessaire, une distinction peut être faite entre différentes zones de l'entreprise où, en fonction du risque de feu, différentes mesures de protection sont d'application pour le personnel.

Si, lors de l'exécution d'une tâche manuelle, des substances inflammables peuvent être libérées, l'exécutant est alors exposé à un risque de feu accru. Il se trouve dans le voisinage immédiat d'une source de feu possible et peut, dans certaines circonstances, recevoir sur lui des liquides inflammables. Des exemples de tâches présentant un risque de feu accru pour l'exécutant sont le désaccouplement de flexibles lors du transfert de substances facilement inflammables ou la prise d'échantillon dans des équipements contenant des substances inflammables. Les manipulations de substances pyrophoriques en sont un exemple particulier pour lesquelles des vêtements de protection anti-feu très spécifiques doivent être utilisés.

### 9.3.3 Identification des scénarios de feux représentatifs

La nécessité d'identifier les scénarios d'incendie et la manière suivant laquelle cela doit être fait, est dépendante des critères utilisés pour déterminer les mesures de protection contre le feu. Lorsqu'une décision relative à la protection d'un porteur de dommages peut être prise sur base du danger de feu, l'élaboration et le développement des scénarios de feu détaillés n'est pas exigé.

Les codes de bonne pratique recommandent en général les mesures de protection contre le feu en fonction de la présence des sources de danger de feu ou en fonction d'une évaluation qualitative et conservatrice du risque de feu.

Des analyses plus détaillées peuvent également être effectuées dans lesquels des scénarios de feu sont définis. Si nécessaire, ces scénarios peuvent être développés d'une manière quantitative à l'aide de modèles mathématiques.

Une combinaison de différents critères de décision est possible, de sorte que l'on prenne d'abord autant que possible des décisions sur base du danger de feu. Si ce critère ne permet pas la décision relative à la protection d'un porteur de dommage, on peut se retourner vers des techniques plus détaillées, qui sont plus difficiles et plus chères, et nécessitent une expertise spécifique.

Lors du développement d'un scénario de feu, on part le plus souvent de la survenance d'une fuite de substances inflammables à partir d'un équipement. En fonction de la nature de la libération et de la dispersion, cela peut conduire à un feu de flaque, un feu de torche ou un feu tridimensionnel. Pour les feux de flaque et les feux de torche, la position et la distance du feu par rapport au porteur de dommage sont importantes.

Si le but est de protéger le porteur de dommages de la même manière de tous les côtés, il peut s'avérer suffisant de dépister uniquement la plus grande libération pouvant donner lieu à la plus grande et la plus proche flaque de liquide. Si le porteur de dommage (par exemple une structure portante) peut être atteint par un feu de flaque sur plusieurs côtés, il faut alors considérer la plus grosse libération pour chaque côté.

Pour les feux de torche, l'orientation de la flamme par rapport au porteur de dommage joue un rôle dans les dommages dus au feu. Si le but est de protéger les porteurs de dommages uniquement dans la zone d'impact possible, les libérations doivent être recherchées le long de tous les côtés menacés. Pour chaque côté, on retient alors la plus grosse libération (qui conduit, en principe, à la plus grande flamme).

Dans certains cas, un développement qualitatif des scénarios peut s'avérer suffisant pour décider si des dégâts pourraient survenir. Lorsque ce n'est pas le cas, une analyse quantitative est alors exigée.

Le développement quantitatif sous-entend que l'on estime les quantités de substances inflammables libérées et la manière suivant laquelle elles sont dispersées. Le feu est caractérisé en termes de température de flamme, de hauteur de flamme, de durée et de distance par rapport au porteur de dommage. Sur cette base, le transfert de chaleur vers les porteurs de dommages peut être calculé. Pour les équipements, il est tenu compte de l'effet refroidissant des substances présentes. Sur base de la température atteignant une enveloppe exposée, une structure portante, un bâtiment de procédé ou un faisceau de câbles électriques, il peut être déterminé si ces porteurs de dommages feront défaut ou pas.

Le développement quantitatif des scénarios de feu exige une certaine connaissance et expertise, qui n'est pas souvent présente au sein de l'entreprise, mais que l'on peut se procurer en externe. Le coût de telles analyses n'est donc pas sans intérêt. Il n'est peut être pas possible, aussi bien d'un point de vue financier que d'un point de vue pratique, d'analyser chaque porteur de dommages de cette manière.

## 9.4 **Evaluation des risques et spécification des mesures**

### 9.4.1 **Principe général**

Différentes sortes de critères sont utilisés afin de décider des mesures de protection contre les incendies:

- sur base du danger de feu;
- sur base du potentiel de danger d'un scénario de feu;
- sur base du risque, c'est-à-dire de la probabilité et de la gravité des dommages.

L'industrie de procédé fournit beaucoup de recommandations en matière de mesures de protection contre les incendies. L'American Petroleum Institute' (API) et le 'National Fire Protection Association' (NFPA) sont deux organisations Américaines reconnues en la matière. D'autres recommandations peuvent également être trouvées dans des codes de bonne pratique relatifs au stockage et au chargement de liquides et de gaz inflammables. Certains assureurs en matière d'incendie ont développé leurs propres recommandations et critères.

La législation belge fournit des prescriptions relatives à la protection des bâtiments et des locaux contenant des substances inflammables, comme par exemple:

- l'article 52 du RGPT
- l'arrêté royal du 7 juillet 1994 définissant les normes de base pour la prévention du feu et des explosions auxquelles les nouveaux bâtiments doivent satisfaire (AR déjà modifié plusieurs fois).

Ces recommandations et prescriptions réglementaires sont formulées essentiellement en fonction du danger de feu. Elles sont toutefois le résultat d'innombrables incidents qui se sont produits dans l'industrie de procédé, et elles tiennent donc, de par ce fait, compte de la probabilité de survenance d'un incendie. L'expérience a démontré que la survenance d'incendies dans des installations de procédé dans lesquelles des substances inflammables sont présentes, sont un scénario réaliste et que des mesures de protection contre les incendies ont toute leur raison d'être. Les services d'inspection Seveso s'attendent à ce qu'une entreprise Seveso étudie ces données issues de l'expérience et en évalue en profondeur l'application dans l'entreprise.

Si ces critères basés sur le danger de feu ne permettent pas d'arriver à une décision, il peut être utile d'identifier des scénarios de feu et de les développer quantitativement. En l'absence de dommages notables, aucune mesure de protection contre le feu n'est nécessaire. Si par contre des dommages sont prévus, on peut alors se comporter de manière conservatrice et prendre des mesures de limitation des dommages, en faisant abstraction de la probabilité de survenance du scénario.

Il est possible que cette manière de faire ne constitue pas une base satisfaisante permettant d'aboutir à une décision. Cela peut par exemple être le cas lorsque les coûts des mesures de protection contre le feu sont considérables par rapport aux dommages qui peuvent être subits. Dans ces cas-là qui sont en principe plutôt rares, il peut être nécessaire d'estimer la probabilité du scénario. Le risque peut être exprimé de différentes manières: via une classe de risque, comme un risque individuel ou comme un risque de groupe.

En pratique, différents critères peuvent être appliqués dans différentes situations. L'approche la plus adéquate consiste à choisir le plus possible les solutions sur base des

codes de bonne pratique et de ne réaliser des analyses plus détaillées, plus coûteuses et consommatrices de temps que pour des situations pour lesquelles les critères de décision plus simples ne donnent pas de réponse satisfaisante.

## 9.4.2 Sélection de recommandations

Quelques recommandations issues de la littérature sont reprises ci-dessous. A moins qu'il n'en soit mentionné autrement, elles proviennent de l'ouvrage de référence "Fire Protection in Chemical, Petrochemical and Hydrocarbon Processing Facilities" du CCPS. Cet ouvrage est basé sur des publications de l'American Petroleum Institute (API), le National Fire Protection Association (NFPA) et d'innombrables autres publications.

L'objectif de l'aperçu donné ci-dessous est de donner une idée du type de recommandations pouvant être trouvées dans des codes de bonne pratique. Le but recherché n'est certainement pas de faire une synthèse des codes les plus importants, ni encore moins de donner un caractère plus "obligatoire" aux recommandations formulées ici plutôt qu'à d'autres recommandations. Les recommandations ci-dessous ne sont d'ailleurs pas la retranscription complète et littérale des textes sources. C'est pourquoi nous conseillons d'ailleurs à ceux qui veulent s'attaquer à la mise en œuvre de ces recommandations, de consulter les textes originaux plus détaillés et plus nuancés.

### A. Protection des cuves de procédé

Pour les cuves de procédé, telles que des colonnes, des scrubbers et des réacteurs contenant une quantité "significative" de substances inflammables, une combinaison de mesures de protection contre le feu actives et passives devrait être pris en considération en plus des moyens de lutte contre le feu manuels.

Des directives détaillées existent par rapport aux parties des cuves de procédé qui exigent une protection et au débit nécessaire pour le refroidissement à l'eau.

Il est recommandé de protéger les poutrelles d'acier verticales et horizontales à l'aide d'une couche ignifuge jusqu'à environ 10 mètres de hauteur.

Pour les appuis des tours autoportantes, des colonnes et des équipements similaires contenant des substances inflammables, il est recommandé ce qui suit:

- protection du côté extérieur des appuis de forme cylindrique et des boulons d'ancrage à l'aide d'une couche de protection ignifuge avec une résistance au feu de minimum 1,5 heure;
- protection du côté intérieur des appuis de forme cylindrique par plusieurs ouvertures ou une seule grande ouverture (de 0,5m de diamètre) avec un refroidissement à l'eau ou une couche de protection ignifuge; les tabliers de soutien reprenant seulement 1 ouverture et de moins de 1,2 m de diamètre ne doivent pas être protégés.

### B. Protection des échangeurs de chaleur

Les échangeurs de chaleurs érigés au rez-de-chaussée ou sur un sol plein, et qui peuvent être exposés à un feu à la suite d'une fuite, sont souvent prévus d'appuis en béton afin d'offrir une résistance au feu maximale.

Lorsque des appuis en acier des échangeurs de chaleur font plus de 30 cm de haut, les appuis devraient être protégés par une couche de protection ignifuge ou un refroidissement à l'eau.

Lorsque les échangeurs de chaleur sont placés au-dessus d'autres équipements, les critères de protection contre le feu valables pour l'équipement sur lequel l'échangeur de chaleur est placé, sont généralement d'application.

Les échangeurs de chaleur "Shell-and-tube" pouvant être exposés à un feu externe, et pour lesquels le liquide côté virole ne peut pas absorber beaucoup de chaleur, devraient être pourvus d'un refroidissement à l'eau ou d'une couche de protection ignifuge. L'isolation thermique peut seulement faire office de couche de protection contre le feu si elle a été spécifiquement conçue pour cela.

### **C. Protection des pompes**

Un refroidissement à l'eau est recommandé pour les pompes qui véhiculent les liquides suivants:

- LPG et LNG;
- hydrocarbures à des températures supérieures à 260°C;
- hydrocarbures à des pressions supérieures à 35 barg;
- hydrocarbures à des températures supérieures à leur point d'auto-inflammation;
- liquides à des températures supérieures à leur point d'éclair;
- liquides ayant un point d'éclair inférieur à 38°C.

Les têtes d'aspersion doivent être placées de manière à ce que toutes les parties à protéger soient bien aspergées. Cela comprend entre autres la pomperie, les brides des tuyauteries à l'aspiration et au refoulement, les garnitures des pompes et les tuyauteries de circulation.

Les pompes sans bourrage ne nécessitent pas de refroidissement à l'eau.

### **D. Protection des compresseurs**

Complémentairement aux prescriptions pour la lutte manuelle contre le feu, un système d'aspersion d'eau doit être prévu pour les compresseurs dans les circonstances suivantes:

- lorsque les équipements proches mettent en œuvre des gaz ou des liquides inflammables;
- pour les compresseurs d'une puissance de 112 kW (150 HP) ou plus qui pompent des gaz combustibles;
- pour les compresseurs avec un circuit de lubrification externe dont le débit d'huile est supérieur à 95 litres par minute (25 gpm) ou avec un volume d'huile de plus de 378 litre (100 gal).

En ce qui concerne le dernier point, il faut remarquer que le système d'huile lubrifiante des compresseurs, même si ceux-ci ne pompent pas des gaz inflammables, peut représenter un réel danger d'incendie.

Les systèmes d'aspersion d'eau sont fortement recommandés pour les compresseurs situés dans un local fermé.

Lorsque des compresseurs sont placés dans un local munis de sprinklers, la surface aspergée doit dépasser de 6 mètres autour des compresseurs et couvrir toutes les parties du système de lubrification.

## E. Protection des réservoirs de stockage atmosphériques

Pour les réservoirs de stockage atmosphériques, des recommandations sont données pour l'installation de systèmes d'extinction à la mousse. Aussi bien ses installations d'extinction à la mousse manuelles que des installations fixes rentrent en ligne de compte.

Les paramètres qui jouent un rôle pour la prise de décision pour installer un système d'extinction à la mousse sont: le type de toit, le diamètre du réservoir ainsi que le point d'éclair et la température des substances stockées. La spécification de tous ces détails nous conduirait ici trop loin.

## F. Protection des réservoirs de stockage sous pression

Sans le refroidissement d'un système d'aspersion d'eau, on peut s'attendre à ce qu'un réservoir sous pression, dont le niveau de liquide est considérablement sous la hauteur des flammes, puisse s'effondrer en quelques minutes des suites de l'affaiblissement de la paroi.

La publication API 2510 "Fire Protection Considerations for the Design and Operation of Liquefied Petroleum Gas Storage Facilities" mentionne que les réservoirs exposés à un rayonnement de chaleur de plus de 22 kW/m<sup>2</sup> (7000 BTU/hr.ft<sup>2</sup>) doivent être protégés afin d'éviter leur ruine suite à l'exposition à haute température.

Le refroidissement à l'eau offre une protection contre les feux de flaque et a donc un double effet:

- l'eau assure le refroidissement externe en captant la chaleur apportée;
- le refroidissement limite la vaporisation et la perte de produit via la phase vapeur, ce qui conduit à une diminution moins rapide du niveau liquide et protège l'enveloppe pendant un temps plus long et ce, via l'effet refroidissant du liquide dans le réservoir.

Les systèmes d'aspersion à l'eau doivent protéger la surface complète du réservoir sous pression, y compris la partie inférieure, ainsi que les appuis.

Une couche de protection ignifuge constitue une alternative aux systèmes d'aspersion à l'eau. Une résistance au feu de 2 heures est recommandée. Il est alors supposé que le feu peut être éteint endéans ce délai ou bien que des moyens de refroidissement mobiles peuvent être mis en œuvre. La protection passive a comme avantage qu'elle offre aussi une protection contre les feux de torche.

Une autre forme de protection passive encore de plus en plus souvent utilisée consiste à recouvrir les réservoirs de stockage d'une couche de terre ou de les enterrer. Les avantages de cette forme de protection contre le feu doivent être comparés aux désavantages, comme les risques de corrosion et les limitations en matière d'inspection.

D'autres directives relatives à la maîtrise des risques de feu pour des stockages sous pression peuvent être trouvées dans:

- NFPA 58, "Liquefied Petroleum Gas Code";
- NFPA 59, "Utility LP-Gas Code".

## G. Protection des chemins de câbles

La NFPA 15 donne des directives pour la protection des chemins de câbles qui peuvent être exposée à des feux de flaque ou des feux suite à de liquides qui fuient. Des

directives complémentaires relatives aux très grands chemins de câbles peuvent être trouvées dans la NFPA 850, Appendix C-4, "Grouped Cable Fire Tests".

On peut s'attendre à une exposition au feu là où il y a présence de liquides inflammables et des gaz combustibles, comme par exemple:

- dans les structures portantes ou les zones renfermant des substances inflammables;
- à proximité de brûleurs;
- au-dessus des pompes et des compresseurs.

Dans les grands chemins de câbles ou les chemins de câbles complètement remplis de faisceaux épais, et surtout lorsque des câbles de puissance sont présents, le risque de surchauffe et de feu dû à une surcharge des câbles doit être analysé.

Pour les chemins de câbles dans les zones où des systèmes d'aspersion d'eau sont déjà présents pour la protection des équipements, il est recommandé de prévoir un refroidissement à l'eau complémentaire, pour protéger spécifiquement la partie supérieure du chemin de câbles.

Une protection par un système de refroidissement à l'eau de la partie supérieure est aussi recommandée lorsque le danger de feu est imputable exclusivement au chemin de câbles lui-même (surchauffe des câbles).

Dans les zones où aucun refroidissement à l'eau des équipements n'est prévu, les méthodes de protection suivantes sont recommandées:

- une protection à l'aide d'un système d'aspersion d'eau aussi bien du côté supérieur que du côté inférieur;
- une protection de la partie inférieure à l'aide d'un écran et de la partie supérieure à l'aide d'un système d'aspersion d'eau.

Le placement d'écrans au-dessus des chemins de câbles afin de protéger les câbles des fuites de liquide, des poussières et de tout autre brol pouvant y tomber, doit avoir lieu avec prudence. On doit ici rester attentif à ce que de tels écrans ne repoussent pas la circulation de l'air et le refroidissement des câbles ou n'empêchent les faisceaux d'eau des systèmes d'aspersion fixes ou mobiles.

Dans les cas où la protection des chemins de câbles est exigée, les appuis des chemins de câbles doivent aussi être protégés.

Des ordres de grandeur donnés pour la résistance au feu sont de 1,5 à 2,5 heures.

## **H. Protection des postes de (dé)chargement**

Pour le (dé)chargement de camions- et de wagons-citernes de liquides inflammables, des canons à mousse fixes sont recommandés comme moyens de lutte contre le feu minimum. Ils doivent être placés de manière telle que les deux côtés des camions- et wagons-citernes puissent être atteints par la mousse. Des systèmes automatiques d'aspersion à la mousse offrent un haut niveau de protection plus élevé.

Pour protéger les quais de (dé)chargement de liquides inflammables, le placement d'hydrants ou de moniteurs est recommandé. Ceux-ci doivent être placés de manière telle que les jets d'eau puissent être dirigés à partir d'un lieu sûr vers l'installation, et ce, à partir de 2 directions différentes.

## **I. Structures portantes des cuves de procédé**

Il faut partir du principe que les structures portantes où sont présentes des cuves de procédé contenant des quantités significatives de liquides inflammables, peuvent être exposées à des feux de torche ou des feux de flaque. Les températures atteintes dans ce cas peuvent conduire à une fragilisation et à l'effondrement des poutrelles d'acier des structures et à une libération du contenu des équipements présents dans la structure portante. Par conséquent, il est nécessaire de protéger les structures portantes en acier de manière appropriée.

Cette protection peut prendre la forme d'une couche protectrice ignifuge, d'un système de refroidissement à l'eau ou d'une combinaison des deux. La protection passive est à préférer.

Lorsque seule une couche de protection ignifuge est utilisée, une résistance au feu de 2 à 3 heures devrait être prévue (en fonction de la durée estimée du feu). Lorsqu'un système de refroidissement à l'eau est utilisé en combinaison, une résistance au feu de 1 à 2 heures est typiquement spécifiée.

Dans le cas de structures comportant des équipements avec un potentiel d'incendie élevé, il est recommandé de protéger les poutrelles de soutien verticales jusqu'au niveau où les équipements sont soutenues. Les poutres portantes qui transmettent les charges sur les poutrelles de soutien verticales doivent aussi être protégées.

Dans le cas de structures comportant des équipements avec un potentiel d'incendie faible, il est recommandé de protéger la structure portante depuis le niveau du sol jusqu'à une hauteur de minimum 9 mètres (30ft).

Dans le cas de structures ne renfermant pas des équipements avec un danger d'incendie, mais qui sont toutefois érigées dans un environnement avec un danger d'incendie, il est recommandé de protéger la structure jusqu'au premier niveau, ainsi que la surface portante horizontale du premier niveau.

## **J. Appuis des racks de tuyauteries**

Pour les appuis des racks de tuyauteries, il est principalement tenu compte du potentiel de danger de feu des équipements et des bâtiments situés dans les environs des appuis. Il doit également être tenu compte de la situation de caniveaux dans lesquels des produits inflammables peuvent être évacués.

Pour les structures portantes des racks de tuyauteries pouvant être exposées à un feu externe, une protection au feu de 1 à 2h est préconisée jusqu'à la surface portante inférieure des tuyauteries. Cette surface portante doit elle-même aussi être protégée.

Si, en plus des tuyauteries, d'autres équipements sont aussi disposés dans un rack de tuyauteries (par ex. des refroidisseurs d'air), le rack de tuyauterie doit alors être considéré comme une structure portante de cuves de procédé et il doit également être tenu compte des fuites provenant de ces équipements.



# 10 Protection contre les explosions

## **10.1 Risques d'explosions**

### **10.1.1 Types d'explosions**

#### **A. Explosions de nuage de gaz**

L'ignition d'un nuage inflammable de gaz, de vapeurs, d'aérosols ou de fines gouttelettes de liquide peut donner lieu à un feu de nuage ou à une explosion de nuage de gaz. Pour arriver jusqu'à une explosion de nuage de gaz, il est nécessaire que le front de flamme atteigne des vitesses suffisamment élevées. L'accélération est causée par la turbulence dans le nuage de gaz. Cette turbulence est créée par l'interaction du front de flamme avec toutes sortes d'obstacles, tels que des tuyauteries, des structures portantes et des équipements. Le lieu où la libération se produit et où le nuage explosif est formé, ont donc une influence importante sur les surpressions qui peuvent être générées. Dans la plupart des installations de procédé, où des équipements et des tuyauteries sont placés les uns près des autres, le degré de confinement est élevé. La turbulence nécessaire peut aussi être livrée par la libération à haute pression du matériel inflammable.

A côté de la formation de turbulence, la présence d'une masse suffisante de substance inflammable dans ses limites d'explosion est aussi importante. Pour aller jusqu'à une explosion de nuage de gaz, l'ignition doit être retardée jusqu'à ce qu'un nuage de dimensions suffisantes soit formé.

#### **B. Explosions physiques**

On parle d'une explosion physique lorsqu'un réservoir avec un gaz sous haute pression se rompt de manière soudaine et que le contenu est libéré à grandes vitesses. L'expansion rapide des produits sous pression comprime l'air environnant et occasionne une onde de pression. Des fragments du réservoir éclaté peuvent être projetés avec des vitesses élevées.

Pour être complet, nous mentionnons encore un autre type d'explosion physique, à savoir celle occasionnée par la vaporisation rapide d'un liquide en contact avec des matériaux très chauds. Un exemple typique est la vaporisation explosive de l'eau en contact avec du métal liquide ou des huiles chaudes.

#### **C. BLEVE**

Un BLEVE est en fait un cas particulier d'explosion physique.

Un BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Cloud Explosion) est le résultat d'un liquide qui se vaporise très rapidement. Les vapeurs produites se développent à des vitesses élevées, compriment l'air environnant et occasionnent de cette manière une onde de pression.

Le phénomène se produit lorsqu'un réservoir avec un produit à l'état liquide, mais avec une température largement au-dessus de son point d'ébullition, se déchire soudainement. A côté de l'onde de pression due au gaz en expansion, des fragments du réservoir peuvent aussi être projetés à des distances relativement grandes.

Les BLEVE sont la plupart du temps associés à des réservoirs avec des gaz liquéfiés sous pression. Lorsque ces réservoirs sont exposés à un feu externe, la pression augmente et la paroi s'affaiblit. Si les gaz liquéfiés sont aussi combustibles, il apparaît en plus une boule de feu.

## **D. Explosions internes (explosions confinées)**

A cause d'une explosion interne, un réservoir ou une tuyauterie peut éclater d'une manière explosive. Des fragments peuvent alors être projetés et les gaz de combustion en expansion peuvent occasionner des ondes de pression dans le voisinage. Des effets similaires peuvent avoir lieu avec des explosions internes dans des espaces confinés.

## **E. Décompositions explosives**

Une décomposition explosive peut avoir lieu avec des substances liquides ou solides avec une énergie de décomposition élevée. Des exemples sont des explosifs et certains engrais, comme le nitrate d'ammonium.

Une décomposition explosive peut aussi avoir lieu lorsque le contenu de réacteurs ou d'autres réservoirs est chauffé au-dessus de sa température d'auto-décomposition.

# **10.1.2 Porteurs de dommages possibles**

## **A. Personnes**

Les personnes qui sont directement touchées par une onde de pression, subissent principalement des dommages aux poumons et aux tympans.

A côté de cela, des effets secondaires peuvent également avoir lieu, à cause de l'impact des projectiles ou l'effondrement de bâtiments.

Des effets tertiaires sur les gens sont liés aux blessures encourues lorsque des personnes ont été soufflées au loin par l'onde de pression ou ont été projetés contre des objets.

## **B. Bâtiments et structures**

Les dommages occasionnés par une onde de choc à un bâtiment est d'une manière générale fonction de la méthode de construction, de la surpression dans l'onde de pression lors de l'impact et de la durée de l'onde de pression.

Dans le livre "Guidelines for Evaluating Process Plant Buildings for External Explosions and Fires" du CCPS, on peut trouver pour différents types de bâtiments une description des dommages attendus en fonction de la surpression lors de l'impact.

Lorsque l'explosion se produit au niveau du sol, une partie de l'énergie sera transférée vers le sol et une onde de choc se propagera dans le sol. Les effets de cette onde de choc souterraine sont souvent faibles en comparaison des effets de l'impact direct de l'onde de pression et ne donneront la plupart du temps lieu à aucun dommage substantiel au bâtiment. Les vibrations occasionnées peuvent cependant mener à la chute d'objets des murs, des plafonds (par ex. armatures d'éclairage) ou des étagères.

Les dommages aux personnes dans un bâtiment sont liés aux dommages au bâtiment. Le dommage peut être causé par l'effondrement des murs et plafonds ou par la formation de projectiles. Un exemple typique est les fragments de verre de fenêtres.

Dans le livre mentionné ci-dessus, on peut aussi trouver des données sur la probabilité d'avoir une blessure grave ou fatale en fonction des dommages aux bâtiments.

## **10.2 Mesures de protection contre des explosions**

### **10.2.1 Distances de sécurité**

La surpression occasionnée par une onde de pression ou d'autres effets liés à l'explosion diminuent lorsque la distance jusqu'au centre de l'explosion augmente. La diminution de la surpression est environ proportionnelle à la distance exposant trois.

L'implémentation des bâtiments ou installations à une distance à laquelle ils ne peuvent plus subir de dommages (dangereux) dans le cas d'une explosion est une mesure évidente pour limiter les dommages dus à des explosions.

### **10.2.2 Renforcement de bâtiments**

La résistance à l'explosion d'un bâtiment n'est pas une donnée équivoque. La résistance que l'on veut donner à un bâtiment, dépend des dommages que l'on juge acceptables pour ce bâtiment. Plus le bâtiment est placé près du centre d'une explosion potentielle, plus grande la résistance aux effets de l'explosion devra être grande.

Pour des nouveaux bâtiments, la résistance contre les explosions peut être incluse à la conception. Pour des bâtiments existants, on peut envisager une série de modifications pour augmenter la résistance contre des explosions. L'efficacité de ces modifications doit être confrontée à la grandeur des effets attendus des explosions. Dans certains cas, il peut être techniquement impossible de donner à un bâtiment existant une résistance suffisante contre les effets de l'explosion ou il est plus intéressant financièrement de placer un nouveau bâtiment résistant aux explosions (que ce soit au même endroit ou non).

Une stratégie possible peut consister à placer les bâtiments avec un taux d'occupation constant et/ou élevé à une grande distance (de manière à ce qu'aucune résistance aux explosions ou une résistance limitée ne soit nécessaire) et à prévoir une série de bâtiments plus petits résistant aux explosions pour le personnel opérationnel, plus près des installations avec un danger d'explosion.

Ci-dessous sont listées quelques modifications possibles pour un bâtiment existant, qui augmentent la résistance contre des explosions:

- la couverture des vitres des fenêtres avec un film de sécurité (de manière à ce qu'il ne se fragmente plus);
- le remplacement des vitres des fenêtres par du verre de sécurité (polycarbonate ou verre laminé);
- le renforcement des châssis de fenêtre pour éviter que la vitre ne soit soufflée vers l'intérieur;
- la prise de mesures pour éviter que les vitres recouvertes d'un film de sécurité ou que le verre de sécurité dans sa totalité ne soit soufflé dans le bâtiment, par exemple en plaçant des barres derrière la fenêtre ou en renforçant les châssis;
- la limitation du nombre de fenêtres en remplissant les ouvertures de fenêtres existantes avec un matériau plus résistant aux explosions;
- le renforcement des murs, toits et autres éléments structurels, l'ajout de poutres ou de murs porteurs;

- le remplacement de portes et de cadres de portes par des types résistants aux explosions;
- la fixation des équipements intérieurs (lampes, écrans TV, ...) et des meubles;
- le placement d'un mur pour protéger un bâtiment contre une onde de pression entrante; de tels murs doivent être placés suffisamment près du bâtiment;
- le cloisonnement d'un bâtiment existant dans une structure externe résistant aux explosions.

### **10.2.3 Evacuation à temps**

L'évacuation est une mesure pour limiter les dommages aux personnes. L'évacuation doit dans ce cas avoir lieu dans un endroit hors de la zone de danger ou dans un bâtiment offrant une protection suffisante.

La mesure est seulement efficace si l'on peut détecter la libération à un stade suffisamment précoce. Cela peut être réalisé par le placement de systèmes de détection automatiques.

### **10.2.4 Réduction de l'exposition dans des bâtiments existants**

Les activités menées dans des bâtiments qui peuvent être endommagés par une explosion, peuvent être déménagées entièrement ou en partie vers des bâtiments qui ne sont pas ou sont moins exposés au risque de dommages dus à une explosion, ou à l'intérieur du même bâtiment mais vers une partie qui est éloignée des sources de danger. Une variante de cette approche est la diminution du temps passé par les personnes dans des bâtiments pouvant encourir des niveaux dangereux de dommages à cause d'explosions.

## **10.3 Identification des risques de dommages dus à l'explosion**

### **10.3.1 Identification des porteurs de dommages possibles**

Nous nous limitons aux bâtiments lors de l'identification des porteurs de dommages, vu que des mesures de protection contre des explosions sont surtout prises pour des bâtiments.

Dans le livre "Guidelines for Evaluating Process Plant Buildings for External Explosions and Fires" du CCPS, une approche est présentée, avec laquelle une série de bâtiments sont écartés de l'analyse a priori parce qu'ils sont considérés comme non critiques sur base de leur faible taux d'occupation ou sur base de leur caractère de non critique pour la sécurité. Le taux d'occupation peut par exemple être exprimé en nombre d'heures de travail par homme par semaine. Cette valeur est calculée en faisant une somme du nombre moyen d'heures que chaque personne active est présente dans le bâtiment. Dans certains cas, un tel calcul peut cependant ne pas donner une bonne image. Certains bâtiments sont caractérisés par un pic d'occupation, tels que les lieux de confinement ou les centres de coordination pour la planification d'urgence. L'image est encore plus faussée si le pic d'occupation se produit à des moments où il y a un risque plus élevé d'explosion, comme cela peut être le cas lors de situations d'urgence ou lors du démarrage des installations. Un bâtiment peut occuper une fonction critique pour la sécurité parce qu'il abrite par exemple de l'équipement important pour la mise à l'arrêt en sécurité de l'installation ou pour le plan d'urgence.

Si des bâtiments sont exclus a priori de l'analyse, cela signifie que l'on accepte en fait les dégâts au bâtiment, quelqu'en soit l'ampleur. De telles décisions doivent être bien argumentées et documentées. Les critères de décision utilisés à ce sujet devraient être appliqués de manière consistante pour l'ensemble du site.

Une enquête sur les risques d'explosion pour un bâtiment déterminé débute avec l'identification des sources possibles de danger d'explosion. Sur base de cette analyse, on peut établir des scénarios d'explosion représentatifs et calculer les ondes de pression auxquelles le bâtiment peut être exposé. Ces données permettent en somme de déterminer les dommages au bâtiment et aux personnes présentes.

Le niveau de détails avec lequel les scénarios sont décrits et développés, peut varier en fonction de la méthode d'évaluation. Si une estimation très grossière suffit pour prendre une décision, il n'est pas nécessaire de développer des scénarios en détails.

### **10.3.2 Identification des sources de danger d'explosion**

La prochaine étape dans l'analyse est de détecter pour chaque porteur de dommages les sources de danger d'explosion.

Sur base des différents types d'explosion, comme décrits ci-dessus, nous pouvons distinguer les sources suivantes de danger d'explosion:

- les équipements d'où peuvent se libérer suffisamment de substances pour occasionner une explosion de nuage de gaz;
- les équipements avec des gaz liquéfiés (ou plus généralement des substances dans des conditions pouvant occasionner un BLEVE);
- les équipements à haute pression pouvant donner lieu à une explosion physique en cas de défaillance soudaine;

- les équipements qui peuvent se rompre de manière explosive à cause d'une explosion interne ou d'une réaction qui s'emballe;
- les lieux de stockage de substances solides explosives.

La quantité minimale qui doit être libérée pour causer une explosion de nuage de gaz, dépend fortement de l'environnement, en particulier du degré de confinement et de la présence d'obstacles qui peuvent occasionner de la turbulence lors du contact avec le front de flamme.

Il suffit pour chaque côté du bâtiment d'identifier la source de danger d'explosion donnant lieu à l'onde de pression la plus destructive. Des sources de danger d'explosion donnant lieu à une onde de pression moins grave qu'une source déjà sélectionnée, ne doivent pas être retenues dans la sélection.

### **10.3.3 Identification et développement de scénarios d'explosion représentatifs**

Un ou plusieurs scénarios d'explosion représentatifs sont déterminés par bâtiment, à partir des sources possibles d'explosion situées dans le voisinage. Pour les scénarios d'explosion représentatifs, on détermine les surpressions des ondes de pression impactant le bâtiment.

Il existe différentes techniques et modèles décrits dans la littérature, allant d'approches relativement simples et conservatives à des méthodes de calcul complexes tenant compte d'un grand nombre de facteurs. Le niveau de détails dans lequel les scénarios d'explosion sont développés, peut varier de bâtiment à bâtiment. Si l'on peut rapidement décider via une approche conservative qu'il n'y a pas de dommages, alors des calculs plus complexes ne sont plus nécessaires.

En général, les dommages à un bâtiment sont fonction de la surpression de l'onde de pression résultante, de la durée de l'onde de pression et des propriétés du bâtiment.

Les dommages au bâtiment peuvent être déterminés via des données empiriques ou via des calculs détaillés. Les données empiriques mettent un lien entre le type de bâtiment et la surpression de l'onde de pression résultante. Cette approche est en principe conservative et peut être utilisée pour déterminer d'une manière rapide quels bâtiments nécessitent une analyse plus poussée.

Les effets d'une onde de pression sur un bâtiment peuvent aussi être déterminés à l'aide d'une analyse structurelle dynamique, non linéaire, à partir d'un modèle détaillé du bâtiment et de l'onde de pression en fonction du temps. De tels modèles sont nécessaires pour la conception d'un bâtiment résistant aux explosions.

En fonction des critères de décision utilisés, une estimation des dommages au bâtiment n'est pas suffisante pour évaluer les risques d'explosion et il est aussi nécessaire de déterminer les conséquences pour les personnes présentes. Pour ce faire, on peut faire appel à des données empiriques qui tracent un lien entre le type de bâtiment, la surpression, les dommages et la probabilité de blessures graves ou mortelles pour les personnes présentes.



## **10.4 Evaluation des risques et spécification de mesures**

Si, pour un certain bâtiment, il a été déterminé qu'il ne pouvait pas y avoir de dommages notables en conséquence d'une explosion dans l'entreprise, la poursuite de l'évaluation n'est pas nécessaire.

Si des dommages significatifs peuvent par contre se produire, alors la question se pose de savoir s'il s'agit d'une situation acceptable ou non.

Dans certains cas, la possibilité d'avoir des blessures graves ou mortelles pour les personnes présentes, peut être une base de décision suffisante pour la prise de mesures pour prévenir de telles conséquences. Les mesures doivent alors limiter les dommages à un niveau acceptable.

Il est possible que des considérations sur le dommage ne suffisent pas pour prendre une décision. Dans ces cas-là, on peut passer à une décision basée sur le risque. Généralement, les conséquences d'une explosion sont relativement grandes. Pour de tels risques, une grossière classification du risque à l'aide d'une matrice de risques ou d'une méthode similaire, n'est pas très adaptée. Une analyse plus détaillée avec laquelle le risque est exprimé en termes de risque individuel ou de risque de groupe, s'impose alors. De telles analyses n'ont cependant uniquement un sens que si l'on a également déterminé des critères de décision en fonction de ces grandeurs.

Le coût pour réaliser une telle évaluation quantitative du risque peut être considérable. Ces études sont alors aussi uniquement justifiées lorsque les coûts des mesures sont très élevés et lorsque les risques semblent se situer à proximité des limites de l'acceptable. Lorsque, sur base d'une estimation du risque plutôt rudimentaire, il ressort que les conséquences sont très grandes et que des mesures de protection sont nécessaires, alors une analyse quantitative détaillée ne fera que confirmer cette conclusion et augmenter les coûts totaux avec le coût de l'étude.

# 11 Protection contre l'exposition à des substances libérées

## **11.1 Risques de dommages dus à l'exposition à des substances**

### **11.1.1 Dommages dus à l'exposition aux substances**

Nous nous limitons ici aux risques pour l'homme parce que nous pouvons protéger l'homme contre le contact avec des substances libérées accidentellement. Il y a en effet des risques pour la faune et la flore, mais les dommages à l'environnement devront surtout être évités en contrecarrant la dispersion des substances libérées.

Il y a trois types d'exposition qui sont pertinentes dans le cadre de cette publication:

- exposition à des gaz, des vapeurs, des aérosols ou des brouillards libérés accidentellement
- exposition à des liquides libérés accidentellement
- exposition à des substances solides libérées accidentellement (sous la forme de poudres).

La problématique de l'exposition chronique à des agents chimiques tombe en dehors du champ d'application de cette note.

Des nuages de gaz ou de vapeurs peuvent exister suite à la libération de gaz ou suite à la vaporisation de liquides libérés. Ils peuvent aussi être la conséquence d'un incendie ou d'une réaction indésirée. Pensez ici par exemple à une réaction suite au mélange de substances non compatibles dans un encuvement, un égout ou une fosse ouverte. A côté de cela, il faut aussi tenir compte de la possibilité de formation d'un brouillard lors de la libération de liquides sous pression.

Les effets nuisibles d'une exposition unique à des gaz, des vapeurs ou des brouillards dépendent des propriétés intrinsèques et des conditions de leur libération:

- intoxication (dommage aux organes en conséquence de l'inhalation de substances dans le corps via les poumons ou via la peau)
- anesthésie (diminution de la conscience)
- génération d'un sentiment euphorique (ce qui peut donner lieu à un comportement à risques)
- irritation des voies respiratoires
- attaque chimique des poumons
- brûlure des poumons (par inhalation de gaz ou de vapeurs chaudes).

Les effets toxiques d'une exposition unique se présentant la plupart du temps à court terme, mais dans certains cas, il y a également des effets latents qui ne se font sentir qu'après plusieurs années.

Dans la suite de ce document, nous parlerons de "nuages nuisibles", c'est-à-dire un nuage qui peut occasionner des effets nuisibles pour l'homme. Cela ne concerne donc pas uniquement des nuages de substances qui sont classées comme "nocives". En pratique, la plupart des mesures seront par ailleurs prises pour des nuages de substances nettement toxiques.

Le contact avec des liquides est un risque se présentant surtout lors de l'exécution de certaines activités avec lesquelles le travailleur se trouve dans le voisinage d'une fuite potentielle et où cette fuite est liée avec ses activités. Pensons ici par exemple à la déconnexion de flexibles après le déchargement d'un liquide. Les effets d'une exposition à des liquides sont similaires à ceux pour des gaz, des vapeurs et des brouillards et

dépendent donc des propriétés chimiques intrinsèques et des conditions physiques dans lesquelles se trouve le liquide. Des effets possibles sont:

- intoxication (certaines substances sont absorbées via la peau)
- brûlures chimiques (dans le cas de substances corrosives)
- irritation de la peau ou des yeux
- brûlures thermiques (dans le cas de liquides chauds)
- brûlures cryogéniques (dans le cas de liquides froids ou de gaz liquéfiés sous pression).

Des liquides qui sont libérés sous haute pression, peuvent en plus avoir un impact physique, à cause duquel des moyens de protection peuvent être arrachés ou le liquide peut pénétrer par des ouvertures dans les vêtements.

Des liquides peuvent également être absorbés via la bouche, mais nous ne considérons pas cet effet ici, parce que la probabilité pour que cela arrive accidentellement est très faible.

Des substances solides qui sont libérées sous la forme de poudres peuvent être inhalées. Les effets possibles sont similaires à ceux des gaz, des vapeurs ou des brouillards. Une différence importante avec les gaz est qu'un nuage de poussières va se disperser d'une manière bien plus limitée.

## 11.1.2 Porteurs de dommages possibles

Nous pouvons faire une distinction entre différents porteurs de dommages:

- des travailleurs (personnel propre ou tiers) qui exercent une activité au cours de laquelle des substances dangereuses peuvent être libérées
- des personnes à l'air libre
- des personnes présentes dans des bâtiments.

Des exemples d'activités au cours desquelles l'exécutant peut entrer en contact avec de substances libérées accidentellement:

- la déconnexion de liaisons flexibles;
- la prise d'échantillons;
- la purge d'une certaine fraction ("drainer");
- l'ajout manuel de substances à un réacteur ou un réservoir de mélange.

Ce sont des activités typiques au cours desquelles des équipements sont ouverts.

Pour les personnes à l'air libre, on pourrait encore faire une distinction entre les personnes dans les zones où il y a une probabilité augmentée d'exposition due à la présence d'équipements avec des substances dangereuses et les personnes dans les zones qui peuvent uniquement être touchées par un grand nuage nuisible qui se déplace vers cette zone.

En ce qui concerne les bâtiments, nous pouvons faire une distinction entre les bâtiments où des substances dangereuses sont présentes (bâtiments de procédé, entrepôts pour substances dangereuses) et les bâtiments qui peuvent uniquement être menacés par un nuage nuisible externe. Pour les bâtiments où une fuite interne peut engendrer une atmosphère nuisible, il faudra réfléchir à des mesures telles que la détection et l'alarme, la limitation de la présence de personnes, l'évacuation à temps et en sécurité. Pour les bâtiments pouvant être menacés par un nuage externe, des mesures pour empêcher que le nuage n'infiltré dans le bâtiment sont à envisager.

## **11.2 Mesures de protection contre l'exposition**

### **11.2.1 Distances de sécurité**

Pour de gros nuages nocifs, maintenir des distances de sécurité n'est pas une solution pratique dans de nombreux cas. Les distances de sécurité sont plus efficaces lors de la protection contre des risques d'incendie et d'explosion.

Un nuage nocif étendu peut généralement se propager en dehors du terrain de l'entreprise. La localisation des installations avec des substances toxiques dans les coins externes du terrain de l'entreprise peut peut-être limiter l'exposition des personnes présentes dans l'entreprise, mais augmentera dans beaucoup des cas l'exposition possible dans le voisinage de l'entreprise.

Pour limiter l'exposition à des nuages nocifs relativement petits, qui sont beaucoup plus probables, il est par contre judicieux de porter son attention sur l'implantation des installations et des bâtiments sur le terrain.

### **11.2.2 Limiter et empêcher l'accès aux zones de danger**

La présence de personnel dans des zones où il existe un risque plus élevé d'une exposition accidentelle à des substances dangereuses, peut être limitée préventivement à l'aide de procédures internes, d'une organisation du travail et de la signalisation.

C'est surtout valable pour des locaux et des bâtiments où des nuages nuisibles peuvent être formés. Pour de tels locaux, une bonne pratique valable d'une manière générale, et dans certains cas une obligation légale, consiste à surveiller l'atmosphère en continu et de donner une alarme lors de concentrations dangereuses aux accès au local. De cette manière, on peut éviter que quelqu'un se rende dans une atmosphère dangereuse.

### **11.2.3 Evacuation à temps**

L'évacuation à temps est une mesure qui peut être prise pour prévenir ou limiter l'exposition à un nuage nuisible. Une évacuation à temps suppose qu'il y ait en premier lieu une détection à temps de la formation d'un nuage nuisible.

Certaines substances ont une odeur ou une couleur spécifique ou forme un brouillard visible et peuvent de cette façon être détectées par le personnel. Il est important que le personnel soit formé à ce sujet. Il est aussi important d'informer le personnel sur l'absence d'odeur ou de couleur de certaines substances dangereuses dans l'entreprise.

La détection par des sens humains ne suffit pas dans beaucoup de situation pour assurer une évacuation à temps. Dans ces cas-là, une détection automatique à l'aide de moyens de détection disposés de manière fixe et placés stratégiquement est indiquée. Le signal d'alarme qui est donné sur base de tels moyens de détection, doit être bien perceptible dans la zone de dangers.

Les actions que doit prendre le personnel, doivent être clairement définies. Se confiner dans un bâtiment qui est suffisamment protégé de l'air extérieur est en principe meilleur

dans le cas d'un nuage nuisible, qu'une évacuation vers un lieu de rassemblement à l'air libre.

### 11.2.4 Protection des bâtiments

Des nuages nuisibles peuvent s'infiltrer à l'intérieur d'un bâtiment via le système d'aération et ainsi exposer les personnes présentes.

Une détection automatique peut être placée dans le conduit d'aspiration et peut être couplé à une alarme et éventuellement à la mise à l'arrêt automatique de l'aération.

### 11.2.5 Equipements de protection individuelle

Des équipements de protection individuelle (EPI) peuvent être portés préventivement, c'est-à-dire avant la présence d'un nuage nuisible, ou peuvent être utilisés après la libération.

Les EPI seront principalement utilisés préventivement lors de l'exécution de manipulations opérationnelles lors desquelles des substances dangereuses peuvent être libérés. A l'aide d'EPI, on peut se protéger aussi bien contre des gaz et des vapeurs que contre des liquides. Lors du choix d'une protection respiratoire, il faut tenir compte du fait qu'un travailleur se trouvant près de la source de la fuite, peut être exposé à des concentrations élevées.

Les EPI qui sont utilisés après la libération, doivent permettre d'évacuer en sécurité en dehors de la zone de dangers. Pour l'utilisation de ce que l'on appelle des masques de fuite, il n'existe cependant pas d'unanimité. Pour qu'un masque de fuite puisse donner une protection efficace, il faut en effet satisfaire à une série de conditions:

- ils doivent être emmenés par les porteurs de dommage potentiels;
- ils doivent être mis suffisamment rapidement et correctement;
- des masques à filtre doivent offrir une protection suffisante en fonction de la concentration en substances toxiques et du temps d'exposition (il s'agit du temps d'évacuation).

Dans beaucoup des cas, il est très difficile d'assurer que ces conditions soient remplies pour tous les porteurs de dommage potentiels.

Un cas spécifique est le travailleur qui est occupé dans un lieu pour lequel une évacuation rapide et en sécurité n'est pas possible. Pensons par exemple au conducteur d'une grue ou d'un pont roulant. Dans ces cas-là, le travailleur doit disposer à son poste de travail des moyens pour pouvoir évacuer en toute sécurité. Si des masques à filtre ne suffisent pas, alors une protection respiratoire autonome doit être prévue.

Pour protéger le visage, on utilise souvent un écran facial. Cependant il faut alors être bien conscient des limitations. Un écran facial rabaissé, n'offre pas de protection contre les jets de liquide qui viennent d'en-bas. La protection des côtés du visage est aussi importante. Pas seulement dans le cas d'un jet latéral, mais aussi parce que l'on a le réflexe de détourner son visage dans le cas d'une fuite.

## **11.3 Identification des risques d'exposition**

### **11.3.1 Identifications des porteurs de dommages**

Les risques d'exposition sont déterminés pour différents types de porteurs de dommages. La première étape est donc l'identification de tous les porteurs de dommages potentiels.

Tous les travailleurs impliqués dans l'exécution de tâches routinières aux cours desquelles des substances dangereuses peuvent être libérées, sont des porteurs de dommages potentiels.

Les bâtiments où des substances dangereuses sont présentes, présentent un risque élevé d'exposition et il est préférable de définir les personnes présentes comme un groupe séparé de porteurs de dommages. On peut éventuellement faire une distinction entre différents locaux, si les risques d'exposition diffèrent de façon suffisante entre locaux.

A l'air libre, on peut faire une distinction entre d'une part des zones dans des installations où des substances dangereuses sont présentes et où des libérations limitées peuvent occasionner localement un risque d'exposition, et d'autre part les zones qui sont situées plus loin des installations et qui sont uniquement menacées par de plus grands nuages nuisibles (provenant des installations elles-mêmes ou des installations dans le voisinage).

Finalement il est judicieux de retenir comme un groupe séparé de porteurs de dommages les personnes présentes dans chaque bâtiment où aucune substance dangereuse n'est présente mais où les personnes présentes peuvent être exposées à des nuages nuisibles qui s'infiltrent de l'extérieur du bâtiment. Cela concerne ici par exemple les bâtiments administratifs, les ateliers d'entretien mécanique, les entrepôts pour des marchandises non dangereuses.

### **11.3.2 Identification des sources de dangers**

L'étape suivante dans l'analyse est l'identification des sources de dangers pour chacun des porteurs de dommages. Les sources de dangers relatives aux risques d'exposition sont les équipements contenant des substances dangereuses qui lors de leur libération, peuvent menacer le porteur de dommages.

Pour les exécutants de manipulations opérationnelles, il s'agit bien entendu des équipements auxquels ils travaillent. Généralement, ce sont des équipements qui normalement pendant les travaux doivent être vides ou qui ne peuvent pas contenir de substances dangereuses, mais qui à la suite de déviations ou d'erreurs, peuvent quand même contenir des substances dangereuses.

Pour les personnes présentes dans un bâtiment ou un local, les sources de dangers sont d'une part les équipements avec des substances dangereuses qui sont placés dans le bâtiment et d'autre part les équipements avec des substances dangereuses situés dans le voisinage du bâtiment. Pour les équipements à l'extérieur d'un bâtiment, le fait de devoir retenir ou non l'équipement comme source de danger dépendra fortement de la nature des substances, des quantités, des conditions de procédé et de la distance jusqu'au bâtiment.

Pour une zone à l'air libre, on devra faire une sélection parmi les équipements installés dans la zone elle-même et parmi les équipements placés plus loin et qui peuvent

éventuellement donner lieu à des nuages nuisibles qui peuvent se propager vers la zone concernée.

D'autres sources de dangers possibles sont des systèmes ouverts, où des gaz ou des vapeurs dangereuses peuvent être libérées suite à une réaction indésirée. Pensons ici aux encuvements, égouts et autres cuves de procédé qui sont en liaison avec l'atmosphère.

### **11.3.3 Identification des scénarios d'exposition représentatifs**

Pour chaque porteur de dommages, on peut maintenant établir des scénarios d'exposition représentatifs.

Lors de l'établissement d'un tel scénario, on part d'une hypothèse au sujet des libérations représentatives issues des sources de dangers identifiées. Pour chaque libération, on peut alors examiner quelle est l'exposition possible pour les porteurs de dommages.

Lorsque des substances dangereuses sont libérées lors de l'exécution de certaines tâches, les exécutants seront exposés à des concentrations élevées de par leur proximité de la source. Une analyse de tâche peut être utilisée pour identifier les causes spécifiques de l'exposition accidentelle. Il est généralement très difficile d'estimer avec précision les concentrations à courtes distances d'une source d'émission. C'est pourquoi il est recommandé de travailler avec des hypothèses conservatives et de tenir compte de très grandes concentrations.

Pour examiner l'exposition dans une zone déterminée à l'air libre, on peut faire appel à des modèles de dispersion.

Des modèles de dispersion sont cependant beaucoup moins adaptés pour déterminer la dispersion de gaz et de vapeurs dans un espace confiné. A côté de cela, il est vrai que dans de nombreux cas, de tels modèles ne sont pas nécessaires pour constater que lors d'une fuite dans un espace confiné, des concentrations dangereuses peuvent exister. Cela dépend bien entendu de la taille du bâtiment (ou des locaux), des quantités libérées de substances et de l'aération. Dans la plupart des cas, la ventilation dans des bâtiments n'est cependant pas conçue pour maintenir la concentration en substances dangereuses en dessous des valeurs limites pour une intoxication aiguë en cas de libérations accidentelles.



## **11.4 Evaluation des risques et spécification des mesures**

### **11.4.1 Sur base de codes de bonne pratique**

Pour une série de substances toxiques utilisées couramment telles que le fluorure d'hydrogène, le chlore et l'ammoniac, des recommandations au sujet du placement de la détection et de l'utilisation d'équipements de protection individuelle sont disponibles. Les services d'inspection Seveso attendent que ces standards soient appliqués dans la mesure où ils sont d'application pour l'installation en question.

Un principe général a déjà été cité ci-dessus, à savoir que dans des locaux confinés dans lesquels une atmosphère nocive peut exister, une détection est prévue avec signalisation d'alarme aux accès du local.

### **11.4.2 Sur base des conséquences**

La constatation que certains scénarios jugés plausibles peuvent donner lieu à des conséquences très graves, peut être une base suffisante pour prendre des mesures.

S'il y a des doutes sur l'impact d'un nuage nuisible (ou de contact avec un liquide), il est recommandé de demander un avis à un médecin du travail ou un toxicologue.

### **11.4.3 Sur base du risque**

En pratique, une décision pourra être prise sur l'application de la plupart, si ce n'est sur toutes les mesures discutées ici, sur base de codes de bonne pratique ou sur base des conséquences.

Pour les cas où ces critères n'offrent cependant aucune solution, une évaluation peut être réalisée sur base du risque, comme exprimé dans le risque individuel, le risque de groupe ou en classes de risque.

# 12

## **Analyse de quelques mesures typiques**

## 12.1 Soupapes de sécurité

### 12.1.1 Efficacité

Une soupape de sécurité ou un disque de rupture ne peut être considéré comme une mesure pour une cause de surpression déterminée, que lorsqu'il peut être démontré à l'aide de calculs que la soupape de sécurité ou le disque de rupture a été correctement dimensionné.

Cela signifie que pour chaque cause de surpression, le débit à évacuer est déterminé. Sur base de ce débit, une surface de passage peut être calculée. La surface de passage de la soupape installée (ou la surface totale de soupapes placées en parallèle) doit être plus grande que la surface de passage minimale exigée.

Une décharge de pression doit être dimensionnée de manière à ce que la surpression qui apparaît lors de l'évacuation par la soupape de sécurité ou le disque de rupture ne dépasse pas une valeur maximale acceptable déterminée. Cette surpression est spécifiée dans le code de conception du réservoir sous pression.

Pour les réservoirs sous pression conçus selon les standards ASME, les valeurs suivantes sont valables:

- 110% de la pression de conception du récipient (pour d'autres scénarios que le feu externe et pour une décharge de pression simple);
- 121% de la pression de conception pour les scénarios de feu externe;
- 116% de la pression de conception dans le cas où plusieurs soupapes de sécurité sont utilisées pour livrer la capacité d'évacuation souhaitée.

On peut trouver plus de détails dans les standards API RP 520 ou ASME section VIII division 1.

Pour des réservoirs sous pression conçus selon l'AD-Merkblätter, la pression doit aussi être limitée à 110% de la pression de conception dans le cas d'un feu externe.

Une valeur plus faible que celle conforme aux standards de conception est pensable, par exemple dans le cas où l'on tient compte de la dégradation et d'une diminution (calculée) de la résistance à l'origine.

Lors du dimensionnement de soupapes de sécurité et de disques de rupture, on suppose que la perte de charge à travers les tuyauteries d'entrée et de sortie reste limitée.

Selon l'API RP 520 (part II), la perte de charge entre la soupape de sécurité et le réservoir sous pression ne peut pas s'élever à plus de 3% de la pression de tarage de la soupape. Si un disque de rupture a été installé dans la tuyauterie d'entrée vers une soupape de sécurité, alors il faut tenir compte de la perte de charge sur le disque de rupture (avec la perte de charge au travers de la tuyauterie d'entrée de la soupape de sécurité).

Si la perte de charge s'élève à plus de 3% de la pression de tarage, il faut alors réaliser une analyse de l'influence de la perte de charge sur le fonctionnement de la soupape. Pour la détermination de la perte de charge à travers un disque de rupture, on peut utiliser comme règle générale que la perte de charge équivaut à la perte de charge sur une longueur égale à 75 fois le diamètre de la conduite. On peut éventuellement trouver des valeurs plus précises dans les spécifications du producteur.

La surpression dans le système de décharge en conséquence du flux est la "built-up backpressure". Une grande longueur et des coudes aigus donnent lieu à des pertes de

charge relativement élevées. Pour des soupapes de sécurité conventionnelles, la contre-pression due à l'évacuation doit être inférieure à 10% de la pression de tarage (conformément à l'API RP 520). Les calculs de pertes de charges dues au système de décharge doivent démontrer que la perte de charge reste en-dessous de 10% de la pression de tarage. Dans le cas de soupapes de sécurité balancées, la "built-up back pressure" peut prendre des valeurs plus élevées, conformément aux spécifications du producteur (30% à 55%).

Pour pouvoir démontrer qu'une décharge de pression est efficace, les informations suivantes doivent être déterminées:

- la pression de conception de l'équipement;
- la pression maximale admissible dans l'équipement (lors du fonctionnement de la décharge de pression);
- les scénarios pour lesquels la décharge de pression est considérée comme mesure;
- les débits à évacuer pour tous ces scénarios;
- la perte de charge sur les tuyauteries d'entrée et de sortie;
- la surface de passage nécessaire pour le scénario le plus défavorable;
- la surface de la (des) sécurité(s) de surpression installée(s).

## 12.1.2 Fiabilité

La fiabilité d'une sécurité contre la pression à l'aide de soupapes de sécurité est en grande partie déterminée par les facteurs suivants:

- le degré de redondance;
- la protection contre des influences nuisibles;
- l'inspection et l'entretien.

Pour l'application de LOPA, on a besoin d'une valeur quantitative pour la probabilité de défaillance.

### A. Redondance

Appliquer le principe de redondance sur des soupapes de sécurité signifie que l'on installe plus de soupapes de sécurité que nécessaire. Si l'une de ces soupapes de sécurité devait défaillir, c.à.d. si elle ne devait pas s'ouvrir ou de manière insuffisante à la pression souhaitée, les autres soupapes de sécurité peuvent encore livrer la capacité d'évacuation nécessaire.

On doit cependant être attentif pour des fautes dites communes. Lorsque deux soupapes de sécurité redondantes sont montées sur un même piquage, un blocage ou une isolation de cette tuyauterie d'entrée commune va inhiber les deux soupapes de sécurité en même temps.

### B. Protection contre des influences nuisibles

Certaines conditions de procédé peuvent compromettre le bon fonctionnement d'une soupape de sécurité, par exemple:

- à cause de la corrosion, le siège de la soupape peut rester coincé
- la corrosion peut aussi entraîner des fuites au niveau des soupapes de sécurité
- des substances visqueuses peuvent se déposer sur le siège de la soupape ou peuvent bloquer la tuyauterie d'entrée de la soupape de sécurité.

Une conception adaptée ou le placement d'un disque de rupture qui protège la soupape de sécurité de conditions nuisibles dans l'équipement, peuvent offrir la protection nécessaire.

### **C. Inspection et entretien**

Des soupapes de sécurité doivent être démontées hors de l'installation à des intervalles réguliers et recevoir un entretien dans un atelier spécialisé. Cet entretien consiste à ce que la soupape soit complètement démontée, nettoyée, à nouveau assemblée et tarée.

Plus cet entretien est fréquent, plus la fiabilité de la soupape est grande en principe.

## **12.1.3 Risques introduits par la mesure**

Des substances dangereuses peuvent être libérées via une soupape de sécurité qui évacue vers l'environnement. Les risques de ces libérations doivent aussi être évalués.

Les mesures qui peuvent être prises pour diminuer les risques, sont:

- La diminution de la probabilité d'évacuation (par exemple à l'aide de sécurités instrumentales);
- Le choix d'un lieu d'évacuation plus sûr (plus haut, plus éloigné des lieux où des personnes sont présentes);
- évacuation vers un système fermé (par ex. une torchère, un scrubber).

Si le ressort d'une soupape de sécurité se casse, la soupape s'ouvre. Ces risques sont assez similaires aux risques qui surviennent lors de l'évacuation via la soupape. Une différence importante est cependant que lors du fonctionnement normal, la soupape se referme lorsque la pression chute, alors qu'une soupape défectueuse reste ouverte en permanence.

## 12.2 Sécurités instrumentales

### 12.2.1 Efficacité

L'action réalisée par une sécurité instrumentale doit avoir suffisamment d'"impact" pour prévenir le dépassement du paramètre surveillé par la sécurité. Dans certains cas, ceci n'est pas évident. Pensons par exemple à un refroidissement d'urgence qui est activé pour limiter la montée en pression dans un réacteur. Des calculs doivent démontrer que le refroidissement d'urgence est bien en état de retirer la chaleur nécessaire.

Un aspect important de l'efficacité est le temps endéans lequel il faut réagir (avant que le paramètre de procédé surveillé dépasse sa valeur critique). Pour ce faire, la sécurité instrumentale doit être sollicitée à temps, lorsque le procédé est encore suffisamment loin de cette valeur critique, en tenant compte d'une part de la vitesse à laquelle le procédé évolue dans le sens de cette valeur critique et d'autre part du temps de réaction de la sécurité. Le temps de réaction de la sécurité est la somme des temps suivants:

- Le temps de détection (c'est le temps nécessaire pour l'élément de mesure pour enregistrer une valeur déterminée);
- Le temps de décision (c'est le temps nécessaire pour interpréter les signaux de mesure; ce temps est généralement négligeable pour des PLC modernes);
- Le temps nécessaire pour l'élément final de s'enclencher (le temps de mise en route pour de grosses vannes et pour des vannes électriques peut s'élever à quelques minutes);
- Le temps nécessaire pour que l'action ait son effet sur le procédé (par exemple: le démarrage d'un refroidissement d'urgence ne mène pas directement à la diminution de température souhaitée).

### 12.2.2 Fiabilité

La fiabilité d'une sécurité instrumentale est en grande partie déterminée par les facteurs suivants:

- Les composants utilisés
- La tolérance à la faute
- Le degré d'auto-diagnostic
- Le comportement en cas de défaillance
- La résistance et la protection contre des influences nuisibles
- L'inspection et l'entretien

Un des principes fondamentaux du standard IEC 61511 (Functional Safety - Safety instrumented systems for the process industry sector) est que la fiabilité souhaitée (valeur maximale pour la probabilité de défaillance) d'une sécurité instrumentale doit être déterminée sur base d'une évaluation des risques et que l'on démontre via des calculs que la fiabilité souhaitée est aussi atteinte en réalité.

#### A. Les composants utilisés

Une sécurité instrumentale est constituée de différents composants (éléments de mesure, transmetteurs, un organe de décision, solénoïdes, vannes, ...). La qualité (et donc la fiabilité) des composants individuels a en effet une influence sur la fiabilité de l'ensemble. Pour la plupart des nouveaux composants, le fournisseur donne des informations au sujet des probabilités de défaillance, en vue de calculs de fiabilité. Même

si les valeurs données se trouvent du côté optimiste, elles peuvent permettre de comparer différents appareils.

## B. La tolérance aux défauts

La tolérance aux défauts (« hardware fault tolerance ») est la mesure dans laquelle un composant déterminé ou un sous-système de la sécurité instrumentale résiste à l'apparition de défauts (en dépit de la probabilité d'apparition de ceux-ci) sans que la sécurité instrumentale ne perde sa fonctionnalité en matière de sécurité à cause de cette faute.

Une tolérance aux défauts de 1 pour les mesures signifie qu'un seul défaut dans les mesures (la défaillance d'1 mesure), ne peut pas engendrer la perte de la fonction de sécurité de la sécurité instrumentale. Cela signifie dans la pratique qu'il faut prévoir 2 mesures dans une architecture 1oo2 (1 out of 2). Dans une architecture 1oo2, on prévoit 2 mesures et il est suffisant que l'une des mesures donne que la valeur d'enclenchement est atteinte. Dans une architecture 2oo2, les deux mesures doivent avoir atteint la valeur d'enclenchement avant que l'action de la sécurité instrumentale ne soit réalisée. Avec une architecture 2oo2, on évite que le défaut à l'une des mesures ne donne lieu à une activation erronée de la sécurité ("spurious trip") et aux problèmes et coûts qui vont de pair. A côté de cela, une architecture 2oo2 est moins fiable qu'une architecture 1oo2.

Une tolérance aux défauts de 1 pour les éléments finaux suppose 2 éléments finaux dans une architecture 1oo2.

La tolérance aux défauts est en fin de compte une condition supplémentaire imposée à la sécurité instrumentale en plus de la fiabilité. Dans la terminologie des standards IEC61508 et IEC61511, il s'agit là de ce que l'on appelle des "architectural constraints". Cette condition supplémentaire a été introduite pour compenser d'éventuels manquements dans la conception de la sécurité instrumentale, à la suite d'hypothèses faites pendant la conception et aussi pour tenir compte des incertitudes dans les probabilités de défaillance utilisées dans les calculs de fiabilité. En d'autres mots, les "architectural constraints" freinent une confiance exagérée dans l'exactitude des probabilités de défaillance et des modèles de calcul.

Le standard IEC61511 demande pour une sécurité instrumentale avec un niveau de fiabilité "SIL2", une tolérance aux défauts minimale de 1 pour les mesures et pour les éléments finaux. Pour une sécurité instrumentale avec un niveau de fiabilité "SIL3", le standard demande une tolérance aux défauts minimale de 2 pour les mesures et pour les éléments finaux. Cela implique donc 3 mesures et 3 éléments finaux dans une architecture 1oo3.

On peut déroger à la règle donnée ci-dessus sous certaines conditions. Une tolérance aux défauts de 0 est alors quand même acceptable pour une sécurité de SIL2 et une tolérance aux défauts de 1 pour une sécurité de SIL3. Une des conditions pour cette dérogation est que l'entreprise dispose de suffisamment d'expérience, de laquelle il doit ressortir que l'élément de mesure ou l'élément final est adéquat pour être utilisé dans une sécurité instrumentale. Le standard IEC61511 attend qu'une entreprise dresse une liste avec des instruments de mesure et des éléments finaux approuvés (pour des conditions de procédé déterminées) et ce, sur base d'une vaste expérience avec ces composants. Cette liste doit être actualisée périodiquement.

Une entreprise peut également choisir de suivre les critères en matière de tolérance aux défauts du standard IEC61508. Selon le standard IEC61508, le niveau de tolérance aux défauts est fonction de la classe SIL, de la complexité de l'équipement et de la "safe failure fraction" (SFF) de l'équipement.

## C. Comportement lors de la défaillance

Si la défaillance d'un composant dans une sécurité instrumentale donne lieu à une situation de sécurité (à la place d'une situation non sûre), cela a un effet favorable sur la fiabilité. La détection des défauts a également un effet favorable sur la fiabilité, à condition cependant que la détection mène à la situation de sécurité ou à une alarme et à une réparation rapide.

### **Diagnostic des mesures**

La plupart des mesures en continu envoient un signal électrique à l'organe de décision qui (lorsque la valeur mesurée reste dans sa portée) se situe entre 4 mA et 20 mA. Si le signal tombe en-dehors de cet intervalle, il s'agit d'une indication qu'il y a quelque chose qui ne va pas.

Lorsque le câble de l'alimentation électrique vers l'instrument de mesure se rompt, le signal de l'instrument de mesure à l'organe de décision retombe cependant à 0 mA. La même chose se produit lors de la rupture du câble allant de l'instrument de mesure vers l'organe de décision.

Dans le cas d'un interrupteur (mesure discrète ou "switch"), il faut que le signal qui est envoyé vers l'organe de décision lors d'une valeur sûre du paramètre surveillé, soit différent de zéro.

Certaines mesures disposent d'autodiagnostic. Elles envoient un signal déterminé (plus grand que 20 mA ou plus petit que 4 mA) lorsqu'elles découvrent elles-mêmes un défaut dans leur fonctionnement.

Un diagnostic d'une mesure peut aussi être réalisé en comparant le résultat de mesure avec celui d'un autre appareil de mesure. On peut coupler une alarme ou éventuellement même une action à la dérive entre les valeurs mesurées. Cette forme de diagnostic est uniquement possible avec des mesures en continu.

### **Diagnostics des organes de décision**

Les PLC de sécurité sont caractérisés par un degré élevé d'autodiagnostic (plus de 99% des défauts possibles sont détectés et donnent une alarme).

Les systèmes à relais n'ont pas de diagnostic interne.

### **Position de sécurité de vannes**

Lors de la coupure de l'alimentation en énergie de la vanne, la vanne se met dans sa position de sécurité. Les positions suivantes sont possibles: fermée, ouverte, inchangée (la vanne reste dans la position dans laquelle elle se trouvait). La position de sécurité la plus sûre doit être choisie.

Les vannes électriques n'ont pas de position de sécurité fixe, à moins qu'elles ne soient spécialement fabriquées pour cela, mais restent dans le dernier état lors de la coupure de l'alimentation en énergie. Si, dans le cas d'un incendie il est quand même nécessaire de pouvoir conduire les vannes pendant encore un certain temps (par exemple pour les faire basculer dans la position de sécurité la plus sûre), le câblage électrique doit avoir une certaine résistance au feu.



## **D. Résistance et protection contre des influences nuisibles**

Voici quelques exemples d'influences nuisibles qui peuvent agir sur des composants d'une sécurité instrumentale.

### ***Influence sur la mesure des changements dans les conditions de procédés***

Certaines mesures dépendent des conditions (telles que la densité, la pression, la température ou la concentration) du milieu dans lesquelles elles se trouvent.

Il faut dans ce cas vérifier si on peut s'attendre à des modifications de densité, de pression ou de température, et si cela peut mener à une valeur mesurée erronée (dangereuse).

Les principes de mesure suivants sont sensibles à des changements de conditions du milieu:

- Flotteur (densité de la phase liquide)
- Capteur de déplacement (densité de la phase liquide)
- Mesure de niveau basée sur la pression d'une colonne de liquide (densité de la phase liquide)
- Mesure par tube à bulle (niveau) (densité de la phase liquide)
- Mesure de niveau par ultrasons (limitée en pression, la vitesse du son varie en fonction de la pression, pas adaptée aux gaz liquéfiés, la surface du liquide ne peut pas être couverte de mousse et doit être uniforme)
- Mesures capacitives (niveau) (sensible à la conductivité et donc, par exemple, à l'infiltration d'humidité)
- Mesures de pression différentielle (débit) (température, pression et densité). Un tracing ou une isolation sont éventuellement installés pour éviter ces fluctuations. Il faut, dans ce cas, également surveiller le tracing et inspecter l'isolation.
- Rotamètre (débit) (viscosité, température, densité).

### ***Colmatage du tubing et des tubes de mesure***

Les "tubing" (pour les mesures de pression) et les tubes de mesures peuvent être colmatés par des substances visqueuses, des substances à point de fusion élevé, des liquides contenant de petites particules solides ou des substances souillées.

Dans le cas de mesures de pression, on peut éviter les obstructions du "tubing" en utilisant des "seals" et un capillaire.

Les dégâts mécaniques au "tubing" peuvent par exemple avoir lieu pendant des travaux à l'installation. C'est pourquoi une bonne pratique consiste à prévoir des appuis pour des morceaux plus longs de "tubing".

### ***Influence de vibrations sur les mesures***

Des vibrations peuvent raccourcir la durée de vie d'un élément de mesure ou en déranger le bon fonctionnement, de sorte que des résultats de mesures erronés peuvent être engendrés. Un exemple de ce cas est une mesure par vortex pour la mesure d'un débit.

### ***Dépôts***

En conséquence du dépôt de substances visqueuses, le bon fonctionnement d'une mesure peut être entravé ou le temps de réponse peut augmenter. L'inertie des capteurs de température est par exemple plus grande si une couche isolante se dépose dessus.

Les dépôts peuvent aussi mener au blocage de vannes. C'est pourquoi il est important que l'actuateur (moteur de la vanne) soit suffisamment puissant.

## E. Inspection et entretien

La fonctionnalité complète de la sécurité instrumentale doit être testée régulièrement. Plus ces tests sont fréquents, plus la fiabilité de la sécurité est grande.

La préférence va à un test tête-queue qui se rapproche le plus possible des conditions réelles de fonctionnement de la sécurité. Une alternative consiste à réaliser le test en 2 étapes:

- la partie de la sécurité instrumentale allant de la mesure jusqu'à l'organe décisionnel
- la partie de la sécurité instrumentale allant de l'organe décisionnel jusqu'à l'élément final.

### 12.2.3 Risques introduits par la mesure

Lors de la sollicitation de la sécurité instrumentale, une action déterminée sera mise en œuvre qui va agir sur le procédé. On doit vérifier systématiquement si cette action ne peut pas donner lieu à des problèmes. Voici quelques exemples.

L'arrêt d'un flux d'alimentation vers un équipement déterminé (par exemple pour éviter le surremplissage de cet équipement), peut dans certains cas donner des problèmes en amont, où d'autres équipements peuvent déborder.

La fermeture d'un flux peut donner lieu au pompage contre une vanne fermée, provoquant ainsi un échauffement de la pompe avec tout ce qui peut s'ensuivre (surpression, température élevée, choc thermique).

La fermeture (trop) rapide d'une vanne peut donner lieu à un coup de bélier.

La solution à de tels problèmes ne peut pas consister à simplement supprimer la sécurité instrumentale. Ainsi on perd une fonction de sécurité qui est certainement nécessaire pour arriver à la réduction du risque nécessaire.

Si les problèmes dus à l'activation de la sécurité instrumentale ne peuvent pas être évités à l'aide d'une autre sécurité (similaire), alors il faut prendre des mesures complémentaires pour maîtriser les risques issus du fonctionnement de la sécurité.

Dans les exemples donnés ci-dessus, les problèmes de surremplissage des équipements en amont du flux stoppé peuvent être résolus en plaçant des sécurités de surremplissage supplémentaires. Les problèmes avec la pompe qui tourne contre une sortie fermée, peuvent être évités en arrêtant la pompe en même temps que la fermeture du côté aspiration, ou on peut prévoir des sécurités sur la pression et/ou la température sur la pompe.

Les problèmes de coups de bélier peuvent être maîtrisés en implémentant un temps de fermeture adéquat des vannes.

Une activation non désirée d'une sécurité instrumentale (à cause d'un défaut d'un des composants) peut mener à une perturbation ou un arrêt non souhaité d'un procédé.

Si l'activation non désirée d'une sécurité instrumentale peut s'accompagner de graves problèmes de sécurité, des mesures devront être envisagées pour éviter tout

fonctionnement non souhaité.

On peut se protéger contre une activation non désirée à la suite d'un défaut dans les mesures, en prévoyant plusieurs mesures, pour lesquelles plus d'une mesure doit enregistrer une valeur déterminée avant que l'action corrective ne soit exécutée. Une configuration typique à cet effet est Zoo3.

## **12.3 Actions correctives humaines**

### **12.3.1 Efficacité**

Les considérations en rapport avec l'efficacité des actions correctives humaines sont similaires à celles formulées pour des sécurités instrumentales. L'action qui doit être réalisée, doit être en mesure de prévenir la libération.

Le fait d'intervenir à temps est beaucoup plus critique dans le cas d'interventions humaines que pour des systèmes fonctionnant automatiquement. Les hommes sont en effet plus lents que des machines lorsque cela touche au traitement d'informations. Le temps dont un opérateur a besoin pour recevoir un signal d'alarme et sur base de ce dernier, de prendre la décision exacte et de passer à l'action, n'est certainement pas négligeable.

Si une manipulation doit être mise en œuvre dans l'installation, par exemple la fermeture d'une vanne, il faut également tenir compte du temps de déplacement et du temps nécessaire pour réaliser l'action.

### **12.3.2 Fiabilité**

La fiabilité d'actions correctives humaines est plutôt limitée et plus faible que celle de sécurités instrumentales.

Les facteurs suivants ont une influence importante sur la fiabilité de manipulations correctives humaines en réaction à une alarme:

- résistance et protection contre des influences nuisibles des mesures et des éventuelles vannes qui doivent être manipulées
- inspection et entretien de tout le "hardware" (mesures, alarmes, vannes);
- conception ergonomique des alarmes;
- assurer la présence de personnel dans les lieux où l'alarme est donnée;
- prévoir des instructions univoques et une formation et un entraînement périodiques des opérateurs en ce qui concerne la réalisation de l'action corrective.

### **12.3.3 Risques introduits par la mesure**

En ce qui concerne les risques amenés par l'action corrective, nous faisons référence à la partie sur les sécurités instrumentales.

Dans le cas où l'action est mise en œuvre dans l'installation (par exemple la fermeture d'une vanne ou le démarrage du moteur), il faut identifier les risques pour la sécurité et la santé de l'exécutant et les mesures nécessaires doivent être prises. A ce propos, il faut respecter la hiérarchie de prévention et donc éviter le plus possible que l'exécutant ne soit exposé aux dangers, par exemple en rendant possible l'activation à distance, suffisamment loin des zones de danger possibles. Les équipements de protection collectifs et individuels viennent en deuxième et troisième lieu.

## **12.4 Limitation de fuite via des vannes d'urgence**

### **12.4.1 Efficacité**

#### **A. Temps de réaction**

L'efficacité d'une mesure de limitation de fuite est liée à l'efficacité avec laquelle la mesure réussit à limiter les quantités libérées. Cela dépend en grande partie du temps nécessaire pour réagir à la perte de confinement.

Le temps de réaction est constitué:

- du temps nécessaire pour détecter le problème;
- du temps nécessaire pour prendre une décision au sujet de l'action à mettre en œuvre;
- du temps nécessaire pour exécuter l'action.

Le temps de réaction de la mesure de limitation de fuite doit être estimé et sur base de cela, on peut déterminer dans quelle mesure les quantités libérées peuvent être limitées.

Dans le cas d'une détection automatique, le nombre et la localisation des points de détection sont importants pour pouvoir détecter la libération de manière efficace et suffisamment rapidement. Dans le cas de détection par l'homme, des temps de réaction efficaces ne sont uniquement possibles que dans le cas de la présence permanente sur le lieu où la libération est attendue.

Le temps pour prendre une décision dans le cas d'une action automatique est négligeable. Si l'on compte sur une décision humaine, il est important au départ que les personnes sur lesquelles on compte, remarquent l'alarme. Elles doivent être présentes sur le lieu où l'alarme est donnée et l'alarme doit être signalée d'une manière qui attire l'attention. S'il est attendu que la personne entreprenne encore des actions supplémentaires avant d'intervenir, comme aller voir sur place, alors cela doit également être pris en compte dans le temps de réaction.

Le temps nécessaire pour réaliser l'action est fonction de la nature de l'action et du fait qu'elle puisse être mise en œuvre à distance ou pas.

Lorsque l'action comprend la fermeture d'une vanne, le gain en temps et donc en efficacité est beaucoup plus grand avec des vannes commandables à distance qu'avec des vannes commandables manuellement (sur place). En ce qui concerne le temps nécessaire pour manipuler des vannes manuelles (après détection de la libération), on doit tenir compte de:

- la disponibilité (présence, possibilité de mobilisation) de l'opérateur;
- la distance devant être parcourue entre le lieu où se trouvent l'opérateur et la vanne;
- l'accessibilité de la vanne (escaliers, tuyauteries, passages, ...);
- le temps nécessaire pour manipuler la vanne (par exemple pour un volant, le nombre de tours à donner).

Dans le cas d'un transfert vers un réservoir de recueil, le débit auquel ce transfert peut se faire, a une influence sur le temps de réaction et donc sur l'efficacité. Plus le transfert est long, plus les substances dangereuses dans l'enveloppe fuyante peuvent alimenter la

libération. La compression de la phase vapeur dans le réservoir de recueil d'urgence doit aussi être prise en compte. Si des événements de respiration sont installés sur le réservoir de recueil d'urgence, ils doivent être dimensionnés pour le débit entrant maximal.

Il faut également tenir compte du temps nécessaire pour relier le réservoir de recueil d'urgence et l'équipement, ou pour démarrer des pompes ou des systèmes de mise sous vide.

## **B. Étanchéité des vannes d'urgence**

Des vannes d'urgence ont pour objectif de fermer une tuyauterie et doivent donc garantir une étanchéité interne suffisante pour être efficace. C'est pourquoi des vannes de régulation ne sont pas un choix idéal comme vanne d'urgence. Cependant, aux endroits où une vanne de régulation est présente, le placement d'une vanne d'urgence complémentaire peut probablement être difficile à justifier (en fonction de la situation). Dans ces cas-là, on peut opter pour considérer la vanne de régulation comme vanne d'urgence. L'attention nécessaire doit cependant alors être portée à la conception de cette vanne (étanchéité, position de sécurité, comportement en cas de feu).

## **C. Localisation des vannes d'urgence**

Des vannes d'urgence sur des réservoirs de stockage et des cuves de procédé doivent être placées le plus près possible contre l'équipement qu'elles protègent, de préférence donc comme premier composant après la liaison par bride avec les tuyauteries raccordées.

## **D. Feu externe**

Si des vannes d'urgence peuvent être exposées à un feu, alors elles doivent être résistantes au feu. Cela signifie qu'elles doivent pouvoir conserver leur étanchéité aussi bien en interne que vers l'extérieur et ce pendant au minimum une demi-heure.

La résistance au feu d'une vanne ne peut pas être déterminée sur base de sa conception ou des matériaux utilisés. C'est pourquoi il existe quelques normes décrivant des méthodes de test pour déterminer si un type de vanne est résistant au feu ou non. La méthode de test la plus actuelle est décrite dans "ISO 10497:2004 Testing of valves - Fire type-testing requirements". Les vannes qui sont testées selon cette norme, portent la mention "ISO-FT".

Remarquez que la norme ISO la plus récente ne se limite plus à un type de vanne déterminé. Donc, en principe, chaque type de vanne qui satisfait aux exigences de cette norme, peut être certifié. Un problème à ce sujet se posait par contre pour différents types de vannes avec les normes plus anciennes API 607 et BS 6755 part 2 qui se limitaient aux "soft-seated valves".

Les normes décrites ci-dessus ne décrivent cependant qu'un test de la vanne en elle-même. Mais il ne suffit que la vanne elle-même soit résistante au feu, la manière dont la vanne est montée dans la tuyauterie doit également assurer qu'en cas de feu, l'étanchéité est garantie pendant un certain temps.

En pratique, il existe une manière de monter la vanne pour laquelle on doit se poser de graves questions en ce qui concerne la résistance au feu, à savoir le montage dit "wafer". La figure ci-dessous montre la différence entre le montage avec bride et le montage wafer. Le fait que les tiges filetées qui se trouvent à l'extérieur le long de la vanne avec le montage "wafer", puissent résister longtemps à un incendie, peut être mis en doute. Si l'on ne peut pas démontrer que les tiges filetées sont protégées suffisamment longtemps contre le feu (une résistance au feu d'une demi-heure), des vannes montées de cette

manière ne sont pas acceptées comme résistantes au feu par les services d'inspection Seveso belges.

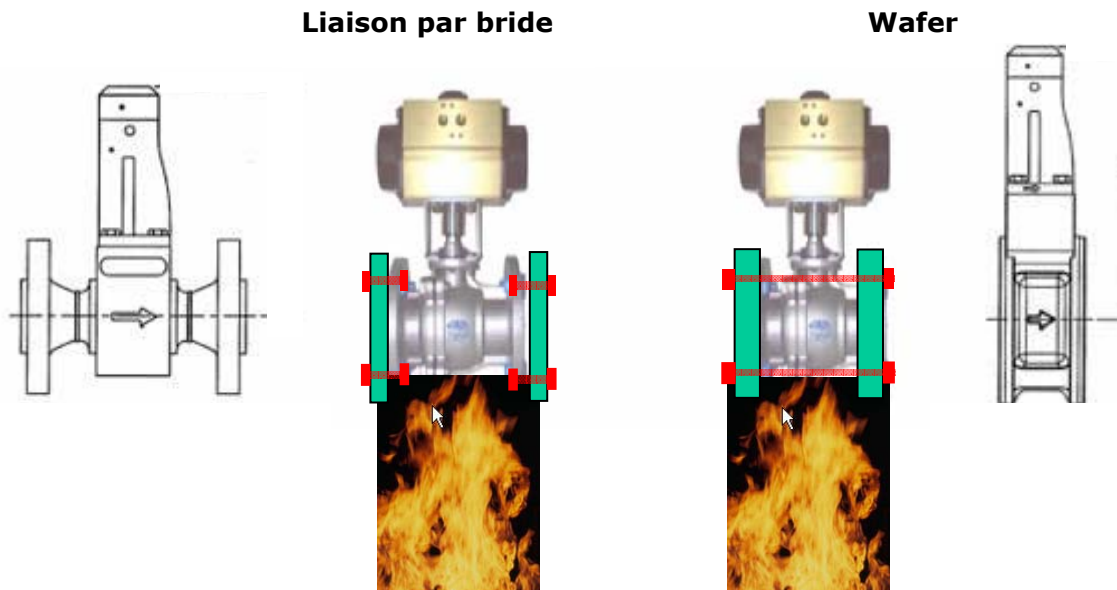


Figure 12.1: méthode de montage de vannes

Un autre aspect du montage d'une vanne d'urgence résistante au feu est l'utilisation de joints résistants au feu. Pour toutes les liaisons par bride entre le réservoir et la vanne commandable à distance, il faut utiliser des joints résistants au feu avec une résistance au feu équivalente à celle de la vanne, c.à.d. au minimum une demi-heure.

L'unique garantie qu'un joint soit réellement résistant au feu, est ici aussi un certificat de test. Bien qu'il n'existe aucune norme spécifique à ce sujet, un joint peut être testé selon les principes de la méthode de test pour des vannes résistantes au feu. Dans la pratique, différents joints sont disponibles sur le marché, qui ont un certificat fire safe selon les normes décrites ci-dessus pour des vannes résistantes au feu.

## 12.4.2 Fiabilité

Les mesures pour limiter une fuite en fermant des vannes d'urgence sont comparables aux sécurités instrumentales et aux actions correctives humaines.

En ce qui concerne les composants "hard ware" de la mesure (tels que les moyens de détection, les vannes et l'organe de décision dans le cas d'une activation automatique) on peut citer les mêmes facteurs que pour les sécurités instrumentales:

- les composants utilisés
- la tolérance aux défauts
- le degré d'autodiagnostic
- le comportement en cas de défaillance
- la résistance et la protection contre des influences nuisibles
- l'inspection et l'entretien

En fonction de la localisation des systèmes automatiques de détection, il faut envisager une protection contre les dégâts dus à un impact, aux influences météorologiques et aux jets d'eau d'extinction.

Des vannes d'urgence qui ne sont manipulées que très rarement, encourent le risque au fil du temps de rester coincées ou de ne plus se fermer complètement. A côté d'une conception adaptée de la vanne, une inspection périodique est une nécessité absolue.

Pour des vannes d'urgence, la position de sécurité est en principe la position fermée. Cependant, il faut toujours vérifier quels sont les risques liés à une position de sécurité. Par exemple, dans le cas d'une vanne sur un circuit de refroidissement, une position fermée en cas de défaillance peut donner lieu à une perte de refroidissement et à tous les problèmes y afférant.

Si l'on compte sur une intervention humaine, les facteurs suivants sont de plus pertinents:

- conception ergonomique des alarmes;
- assurer la présence du personnel sur les lieux où l'alarme est donnée;
- prévoir des instructions univoques et une formation et un entraînement périodiques des opérateurs en ce qui concerne la réalisation de la mesure corrective.

## 12.4.3 Risques introduits par la mesure

### A. Fermeture de vannes d'urgence manuelles

Il est clair qu'un travailleur qui doit se déplacer dans une installation, dans laquelle une libération a été détectée, pour manipuler une vanne manuelle, exécute une tâche potentiellement dangereuse. L'usage de vannes commandables à distance permet d'éviter ces risques. C'est une des raisons pour lesquelles des vannes commandables à distance sont préférées aux vannes manuelles.

Si l'on choisit quand même des vannes manuelles, alors les risques de la manœuvre sur place en cas d'une libération doivent être identifiés et évalués. Il n'est pas acceptable d'exposer la personne manœuvrant une vanne d'urgence manuelle à un risque avec des conséquences potentiellement graves ou mortelles.

De ce point de vue, il n'est certainement pas acceptable:

- que l'opérateur s'introduise dans une atmosphère explosive (la protection contre une ignition n'est pas possible);
- que l'opérateur pénètre dans une atmosphère toxique avec des concentrations hors de laquelle il ne pourrait s'échapper sans aide ou qui pourrait mener à des conséquences graves ou mortelles;
- que l'opérateur s'expose lui-même aux conséquences d'un incendie (chaleur, rayonnement) pouvant lui occasionner des blessures graves ou mortelles.

### B. Activation indésirée

La fiabilité des systèmes de détection est dans certains cas, pas seulement un problème de sécurité, mais aussi un problème opérationnel. Des mesures erronées occasionnent de fausses alarmes ou des arrêts intempestifs du procédé. La gêne ou le risque qui accompagne une activation indésirée, n'est pas identique pour chaque équipement. D'une manière générale, des procédés de production seront plus sensibles à une mise à l'arrêt automatique qu'un parc de réservoirs.

Pour éviter la probabilité d'une activation indésirée de la sécurité, on peut choisir pour une logique de déclenchement pour laquelle plusieurs détections sont nécessaires pour mettre en œuvre l'action (par exemple: l'action est uniquement menée lorsque que l'on mesure une détection dangereuse en 2 points). De cette manière, le mauvais



fonctionnement d'un point de détection ne donnera pas lieu à une intervention automatique dans l'installation.

### **C. Coup de bélier**

La coupure soudaine d'un flux de liquide peut occasionner un coup de pression. Pour des vannes d'urgence commandables à distance, le temps de fermeture peut être réglé.

La coupure subite d'un flux de produit peut également occasionner d'autres risques dans les équipements situés en amont ou en aval.

Si une vanne d'urgence est fermée dans la tuyauterie d'aspiration d'une pompe, la pompe doit être arrêtée pour éviter la cavitation et/ou la surchauffe. Pour des vannes d'urgence commandables à distance, la fermeture de la vanne d'urgence peut être couplée à l'arrêt automatique de la pompe.

## **12.5 Enveloppes à double paroi**

### **12.5.1 Efficacité**

Pour pouvoir remplir de manière efficace son rôle de confinement, l'enveloppe extérieure (ou secondaire) doit être résistante à la pression, la température et aux conditions corrosives survenant en conséquence d'une fuite ou d'une déchirure dans l'enveloppe intérieure (ou primaire).

Souvent les matériaux de construction pour les enveloppes secondaire et primaire sont identiques.

L'utilisation d'autres matériaux n'est cependant pas exclue à condition que les matériaux puissent offrir une résistance pendant la période maximale que l'enveloppe extérieure peut être exposée à la fuite de liquide. Ceci est fonction de la qualité de la détection et de la rapidité avec laquelle le produit peut être évacué de l'espace intermédiaire.

Dans le cas de substances très corrosives (telles que le brome, le fluorure d'hydrogène ou des acides puissants), on peut utiliser une enveloppe primaire qui est très résistante à la corrosion (en plastique ou en verre), mais qui a peu de résistance face aux impacts. L'enveloppe extérieure peut alors être exécutée dans un matériau beaucoup plus solide (par ex. de l'acier), dont la résistance à la corrosion est beaucoup plus limitée, mais quand même encore suffisante pour permettre une intervention avant qu'une fuite vers l'extérieur ne se produise.

### **12.5.2 Fiabilité**

Les enveloppes secondaires peuvent, tout comme les enveloppes primaires, être soumises à la corrosion et à d'autres effets dégradants éventuels. Une analyse des risques de dégradation et un programme d'inspection adapté sont donc également à l'ordre du jour pour des enveloppes secondaires.

A côté du bon état des enveloppes secondaires elles-mêmes, la fiabilité des systèmes de détection de fuite présents ne peut pas être perdue de vue. La fiabilité de tels systèmes est similaire à celle des sécurités instrumentales.

### **12.5.3 Risques introduits par la mesure**

Des substances qui restent dans l'enveloppe secondaire, par exemple après une fuite ou un test de pression, peuvent donner lieu à de la corrosion. C'est pourquoi il est important d'éviter les points morts dans lesquels des substances peuvent s'accumuler et de vider complètement les espaces intermédiaires après une fuite ou après des travaux.

## 12.6 Encuvements

### 12.6.1 Efficacité

Pour être efficace, l'encuvement doit avoir une capacité suffisante pour recueillir la fuite la plus grande possible qui peut être attendue. Le cas échéant, il faut aussi tenir compte de la quantité d'eau d'extinction qui peut aboutir dans l'encuvement lors d'une intervention. Au sujet de la capacité d'encuvement, à côté des prescriptions réglementaires, on peut trouver toute une série de recommandations dans la littérature.

L'encuvement ne peut bien entendu pas présenter de fuites vers l'environnement. Les joints de dilatation dans les murs doivent être bouchés soigneusement. Le passage de tuyauteries à travers les murs doit être le plus possible évité. S'ils sont malgré tout présent, ils doivent être complètement colmaté avec du matériau d'étanchéité résistant aux substances pouvant être libérées dans l'encuvement.

Les canaux d'évacuation de l'eau de pluie doivent être fermés. Une alternative est une évacuation permanente avec une surveillance sur la présence de substances dangereuses dans l'encuvement.

Pour être efficace, il faut aussi éviter que des éventuels flots de liquide ne passent au-dessus du bord de l'encuvement. La distance séparant les équipements au bord de l'encuvement et la hauteur des murs de l'encuvement sont en cette matière des paramètres déterminants.

Les murs de l'encuvement doivent être résistants contre la pression statique qui règne lorsque l'encuvement est complètement rempli et contre la pression hydrodynamique d'une vague de liquide qui peut être la conséquence de la défaillance soudaine d'un équipement dans l'encuvement.

### 12.6.2 Fiabilité

Tout comme pour toutes les mesures, les encuvements doivent être inspectés périodiquement.

Quelques points d'attention typiques lors de l'inspection des encuvements:

- la fermeture de l'évacuation d'eau;
- l'absence de déchets, de saleté, de végétation;
- le bon état des joints d'étanchéité entre les segments des murs d'encuvement et des passages de tuyauteries;
- l'absence de fissures dans les murs d'encuvement;
- le bon état des éventuels écrans anti-éclaboussures;
- le bon état et l'accessibilité des échelles et des passerelles.

A côté du bon état de l'encuvement lui-même, il ne faut pas perdre de vue la fiabilité des éventuels systèmes automatiques pour fermer l'évacuation d'eau en cas de fuite. La fiabilité de tels systèmes est similaire à celle de sécurités instrumentales.

### 12.6.3 Risques introduits par les encuvements

Des substances incompatibles stockées dans le même encuvement, peuvent réagir entre elles en cas de fuites. Lors de leur libération, des substances peuvent tomber en contact avec l'eau présente dans l'encuvement, ce qui pour certaines substances peut donner lieu à des réactions indésirées.

Les encuvements maintiennent les substances libérées dans le voisinage des équipements dans l'encuvement. Le sol de l'encuvement peut être pourvu d'une pente pour éloigner des liquides inflammables des équipements situés dans l'encuvement. De cette manière, on peut limiter l'exposition de ces équipements à un éventuel feu de liquide.

Beaucoup d'encuvement ont une grande surface au sol et permettent donc aussi de grandes surfaces de flaques, ce qui favorise la vaporisation des liquides libérés. Une solution possible pour ce faite est de faire pencher le sol de l'encuvement vers un profond puits de recueil avec une surface relativement petite.

Pour contrecarrer la vaporisation, certainement pour des gaz liquéfiés, on peut prêter attention aux propriétés isolantes du sol et des murs de l'encuvement. Il existe des mélanges spécifiques de béton avec des propriétés isolantes plus élevées.

En fonction de leur hauteur, les murs de l'encuvement peuvent gêner la ventilation. La hauteur des murs et leur éloignement par rapport aux équipements dans l'encuvement jouent ici un rôle.

Si la ventilation naturelle dans l'encuvement est très faible, il peut alors être nécessaire de considérer l'encuvement comme un espace confiné.

Le liquide dans un encuvement peut exercer des forces ascendantes sur des équipements qui sont complètement ou partiellement immergés. Les ancrages nécessaires doivent être prévus.

Un incendie pourrait se propager dans l'encuvement via une évacuation d'eau ouverte ou fuyante. Le maintien fermé de l'évacuation d'eau et un entretien sérieux de celle-ci sont bien entendu les premières mesures pour éviter ce problème. A côté de cela, il est de bonne pratique d'équiper les canaux d'évacuation d'eau d'un siphon.

L'accès aux encuvements peut présenter des risques particuliers. Dans tous les cas, les voies d'évacuation nécessaires doivent être prévues. Les chemins d'évacuation ne peuvent pas être entravés par des réservoirs, des tuyauteries, des pompes et autre appareil situés dans l'encuvement. Des escaliers ou des échelles en suffisance doivent être prévus pour pouvoir quitter l'encuvement.

## 12.7 Systèmes de recueil et d'évacuation

### 12.7.1 Efficacité

Par systèmes de recueil et d'évacuation, on entend l'ensemble des dispositifs pour recueillir ou évacuer l'eau de pluie, une fuite liquide et l'eau d'extinction. Ils sont en général constitués d'un sol de recueil en pente qui dirige le liquide vers des puits de recueil ouverts ou des caniveaux couverts d'une grille. Les puits de recueil et les caniveaux sont ensuite reliés à des canaux d'évacuation qui mène le liquide récupéré à un puits de collecte. De là, cela continue vers un puits de collecte plus grand, l'installation de traitement des eaux ou les égouts publics.

Les sols qui recueillent la fuite liquide doivent être imperméables. Une attention particulière doit être portée aux joints de dilatation. Ils doivent résister chimiquement aux substances qu'ils sont susceptibles de traiter. Les tuyauteries de transfert aériennes (par ex. provenant d'un étage) doivent être protégées contre l'incendie.

Le sol de récolte doit être construit avec une pente choisie de manière à ce que la fuite de liquide soit éloignée des équipements qui fuient et des éventuels équipements sensibles situés dans le voisinage. Des pentes typiques de sol se situent entre 2% et 4%.

La hauteur des bords délimitant la zone de récolte est calculée sur base du débit maximal attendu dans la zone de recueil. La hauteur minimale recommandée est de 10 cm.

Des puits de recueil ou caniveaux suffisants sont prévus pour évacuer le débit de fuite attendu et les quantités attendues d'eau d'extinction. Il faut tenir compte aussi bien de l'alimentation en eau d'extinction des systèmes fixes que de celle des systèmes d'extinction manuels.

Les puits de recueil peuvent être bouchés par les déchets entraînés par l'eau de pluie ou par la fuite de liquide. C'est pourquoi il est préférable de surdimensionner les entrées des puits de recueil (valeur typique: 125%). Un puits de recueil bien conçu dispose aussi d'un puits de décantation pour ramasser les déchets et saletés sans compromettre l'évacuation hors du puits.

### 12.7.2 Fiabilité

Des inspections périodiques doivent assurer que les systèmes de recueil et d'évacuation restent en bon état.

Quelques points d'attention typiques lors de l'inspection des sols de récolte:

- absence de déchets qui gênent l'évacuation vers les puits d'évacuation et les caniveaux
- absence de fissures dans les sols
- bon état des bordures.

Quelques points d'attention typiques pour des puits de recueil et des caniveaux:

- bon état des grilles
- les grilles ne sont pas bouchées avec des saletés
- les puits de décantation dans les puits d'évacuation sont vides.

Quelques points d'attention typiques pour des canaux d'évacuation:

- absences de bouchons;
- étanchéité (pas de fissure);
- bon état des plaques de recouvrement (si c'est utilisé);
- s'ils sont aériens et protégés contre l'incendie: bon état de la protection contre l'incendie;
- bon état des siphons et des séparateurs d'huiles.

Quelques points d'attention typiques pour des puits de collecte:

- la présence et le bon état des éventuels tuyaux de ventilation;
- le bon état des couvercles;
- la position de la vanne vers le traitement des eaux (si présente).

### 12.7.3 Risques introduits par la mesure

Les caniveaux et les puits de recueil sont des lieux où des substances dangereuses peuvent aboutir. Dans le cas de liquides inflammables, ces puits et rigoles peuvent former une source importante de danger en matière d'incendie. Une localisation aussi éloignée que possible d'équipement, de tuyauteries et de piperacks est alors recommandée.

Dans le cas où des liquides inflammables doivent être récoltés, les standards NPFA (30 et 15) recommandent de prévoir sur les caniveaux une grille ouverte sur une partie de la largeur (par ex. 1/3) et d'équiper le reste de la largeur d'un couvercle fermé. Cela assure un effet amortisseur de flamme et devrait limiter de manière significative la hauteur de flamme.

Un autre risque est la propagation de vapeurs inflammables ou toxiques via les canaux d'évacuation vers d'autres zones qui ne sont pas immédiatement menacées. Si les mélanges inflammables trouvent une source d'ignition via les canaux d'évacuation, un retour des flammes peut avoir lieu vers le lieu de la libération. Ces risques peuvent être maîtrisés par l'usage de coupe-gaz.

Les liquides inflammables qui aboutissent dans des puits de recueil fermés peuvent donner lieu à une atmosphère explosive. L'accumulation de gaz inflammables peut être contrecarrée en plaçant un tube de ventilation sur les puits.

La ventilation dans un canal d'évacuation peut être favorisée en limitant la profondeur du canal au bénéfice de la largeur. Un rapport typique de la largeur par rapport à la profondeur s'élève à 2.

Dans les systèmes de recueil, peuvent aboutir des substances provenant de différents équipements ou même de différentes unités. Une analyse approfondie est nécessaire pour vérifier si aucune réaction indésirée ne peut avoir lieu.

## **12.8 Bâtiments de procédé**

### **12.8.1 Efficacité**

Nous traitons ici d'un bâtiment de procédé qui a pour fonction de contre carrer la propagation de gaz et de vapeurs libérés. En effet, tous les bâtiments de procédé ne sont pas conçus pour remplir cette fonction.

Un bâtiment peut prévenir la propagation de gaz ou de vapeurs seulement s'il est construit de façon suffisamment étanche ou si une dépression suffisante est présente. Cette dépression doit rester présente après que les gaz et vapeurs aient été libérés. Cela suppose une aspiration suffisante de l'air hors de l'espace.

Une libération de gaz ou de vapeurs dans un bâtiment étanche à l'air (sans aspiration active) peut occasionner une surpression. Le bâtiment doit être résistant à l'éventuelle surpression qui peut survenir.

Dans le cas où l'on veut éviter la propagation de gaz toxiques vers l'environnement, il faudra prévoir un système pour éliminer les gaz ou vapeurs toxiques de l'air, par exemple en faisant passer l'air aspiré par un scrubber.

Le bâtiment et le système d'aspiration doivent bien entendu être résistants à l'attaque chimique due aux gaz et vapeurs libérés.

### **12.8.2 Fiabilité**

Des inspections périodiques doivent assurer que le bâtiment de procédé puisse exercer efficacement sa fonction de sécurité (la prévention de la dispersion de substances libérées vers l'environnement).

Quelques points d'attention pour cette inspection:

- le bon fonctionnement des systèmes d'aspiration (et les éventuels systèmes de back-up);
- la présence d'une dépression suffisante;
- le bon état des joints (fenêtres, portes, ...).

### **12.8.3 Risques introduits par la mesure**

Les risques d'atmosphères dangereuses dans un local ou un bâtiment doivent être maîtrisés. Une détection continue est nécessaire pour pouvoir avertir à temps et laisser évacuer les éventuelles personnes présentes. L'accès à un espace avec une atmosphère dangereuse est empêché en donnant une alarme au niveau des entrées.

Dans des espaces confinés, une atmosphère explosive peut être formée avec une petite quantité de vapeurs ou de gaz inflammables. En cas d'ignition, la surpression est de plus beaucoup plus importante qu'à l'air libre. La formation d'une atmosphère explosive peut être prévenue ou limitée à l'aide d'une ventilation forcée. Il est de plus important que les fuites de liquides inflammables soient le plus rapidement possible évacuées via un système de transfert fermé.

## **12.9 Couches de protection ignifuges**

### **12.9.1 Efficacité**

Une couche de protection ignifuge doit permettre que le porteur de dommages protégé puisse résister à l'input de chaleur de l'incendie et conserver son intégrité pendant le temps que l'on estime nécessaire pour éteindre l'incendie en coupant l'alimentation en combustible du foyer de l'incendie ou à l'aide d'une lutte active contre l'incendie. Ce temps est exprimé avec le terme "résistance au feu" et est une caractéristique essentielle de la couche de protection ignifuge.

La résistance au feu de matériaux est déterminée à l'aide de tests et est donc valable pour certaines situations normalisées. Il faut tenir compte du fait que le degré de protection dans une situation concrète va diverger de cette valeur. La résistance au feu est une propriété qui permet surtout de comparer différentes couches de protection passives. La détermination de la résistance au feu nécessaire pour un porteur de dommage bien déterminé doit se faire judicieusement et en prenant en compte les marges de sécurité nécessaires.

Le choix d'une résistance au feu déterminée est en principe en fonction du temps que l'on estime nécessaire pour éteindre le feu ou pour prévoir un refroidissement supplémentaire à l'aide de systèmes de sprinklage fixes ou mobiles.

Il n'est pas aisé de faire de telles estimations et on ne peut pas faire à ce sujet des suppositions trop optimistes et irréalistes. C'est pourquoi il est important de faire référence à des valeurs que l'on peut trouver dans la littérature, telles que dans le standard API 2218 "Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing Plants" et dans "Fire Protection in Chemical, Petrochemical and Hydrocarbon Processing Facilities" du CCPS.

La couche de protection ignifuge doit apporter une résistance contre l'impact des jets d'eau qui peuvent être mis en œuvre pendant l'extinction.

Une couche de protection ignifuge qui doit apporter une résistance aux feux de torche doit aussi être résistante à l'impact des jets de gaz et de liquides qui les accompagnent.

### **12.9.2 Fiabilité**

Il existe beaucoup de types différents de couches de protection ignifuge. Le choix du type le plus approprié pour une application déterminée est très important. Les matériaux choisis doivent pouvoir offrir une résistance aux circonstances auxquelles la couche de protection est exposée. La résistance chimique contre les produits qui peuvent couler sur la couche de protection, est à ce propos un point d'attention important.

Le bon état des couches de protection doit être inspecté périodiquement.

### **12.9.3 Risques introduits par la mesure**

Sous la couche ignifuge, de la corrosion peut apparaître. En fonction de la nature de la couche de protection et de la manière dont elle est mise en œuvre, la couche de



protection peut favoriser la corrosion. Certaines couches de protection ignifuges contiennent des substances chimiques, en particulier du chlore, qui peut occasionner la corrosion de l'acier et de l'aluminium. Dans tous les cas, l'isolation rend plus difficile à détecter une éventuelle corrosion naissante.

L'infiltration d'humidité entre l'isolation et l'enveloppe protectrice ou la structure en acier peut être évitée en appliquant une couche de protection ignifuge et étanche.

Le poids que la couche de protection ignifuge ajoute au porteur de dommage, doit pouvoir être supporté.

## **12.10 Refroidissement externe à l'eau**

### **12.10.1 Efficacité**

Quatre paramètres sont d'importance prépondérante pour l'efficacité d'un système d'aspersion d'eau:

- le temps de réponse;
- le débit d'eau;
- la surface aspergée;
- la réserve en eau.

#### ***Temps de réponse***

Le temps de réponse est le temps entre le début de l'incendie et la mise en œuvre du refroidissement à l'eau. Le temps de réponse du refroidissement à l'eau comme mesure est la somme des temps de réponse des trois composants: la détection, la décision et le temps nécessaire pour démarrer le système d'aspersion d'eau.

Une détection automatique donne, certainement pour des endroits où il n'y a pas une présence continue de personnes, des temps de réponse plus rapides qu'une détection humaine. Dans le cas où l'on ne détecte pas l'incendie lui-même, mais la présence d'une atmosphère inflammable, on peut même réaliser des temps de réponse négatifs, si l'on active les systèmes de refroidissement à l'eau préventivement (donc encore avant que l'incendie n'ait lieu).

Ce qui est important pour le temps de réponse rapide de la détection automatique, ce sont le nombre et le placement judicieux des têtes de détection.

Dans le cas où la détection automatique donne lieu à l'activation automatique du système de refroidissement à l'eau, le temps de décision est négligeable. Si l'activation a lieu par une intervention humaine après la génération d'une alarme, alors le temps de décision est par contre critique. Il faut tenir compte du taux d'occupation du lieu où l'alarme est donnée et avec le temps éventuel nécessaire pour évaluer la situation sur place, si cela est exigé avant que le système d'aspersion d'eau puisse être activé.

Dans le cas de système fixe d'aspersion d'eau, le temps nécessaire pour le faire fonctionner est en principe faible. Si le refroidissement à l'eau est appliqué via des canons à eau manipulés à la main, il faut tenir compte du temps nécessaire pour pourvoir en personnel ces canons et pour les brancher sur le réseau incendie.

#### ***Le débit d'eau***

Pour déterminer les débits d'eau nécessaires, on peut trouver des valeurs guides dans la littérature, par exemple dans les publications NFPA 15 "Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection" et API 2030 "Application of Fixed Water Spray Systems for Fire Protection in the Petroleum and Petrochemical Industries".

#### ***La surface aspergée***

Le nombre et l'orientation des têtes d'aspersion doivent assurer que toutes les surfaces à protéger soient bien arrosées. Le dessous de réservoirs, les appuis et les structures portantes nécessitent à ce propos une attention particulière.

### ***La réserve en eau***

Le refroidissement à l'eau n'offre cependant sa fonction de protection qu'aussi longtemps qu'un débit d'eau suffisant puisse être fourni au système d'aspersion. La réserve en eau et la capacité de la pompe sont ici des facteurs limitants. Dans certains cas, ils sont un argument pour ne pas choisir pour une activation automatique pour éviter que l'eau et la capacité de la pompe ne soient utilisés pour des porteurs de dommages qui ne nécessitent pas de protection.

## **12.10.2 Fiabilité**

Pour limiter autant que possible des défauts des systèmes de refroidissement à l'eau, ils doivent être résistants aux influences nuisibles auxquelles ils sont exposés.

Les tuyauteries d'eau doivent être protégées contre le gel, la corrosion, les impacts mécaniques et l'incendie.

Les pompes d'eau d'extinction peuvent être protégées contre le feu et l'explosion par leur placement dans un local de pompes. Il est recommandé de protéger des moteurs diesel dans un local de pompes à l'aide d'un système de spinklage. Pour les moteurs de pompes électriques, la protection des câbles de puissance contre le feu est un point d'attention, tout autant que la disponibilité de l'alimentation électrique.

Lors du choix des systèmes de détection de gaz, il faut faire attention à la présence de substances pouvant empoisonner les têtes de détection et en perturber le bon fonctionnement. Les systèmes de détection et les centrales d'alarme sont généralement équipés de l'autodiagnostic nécessaire et donnent une alarme lors de la détection d'un défaut. Ils sont aussi équipés d'une alimentation d'urgence pour le cas d'une coupure d'électricité. Puisque les systèmes de détection automatiques peuvent défaillir, il faut toujours prévoir une activation manuelle.

Les systèmes de refroidissement à l'eau et les moyens de détection utilisés pour leur activation doivent être inspectés périodiquement.