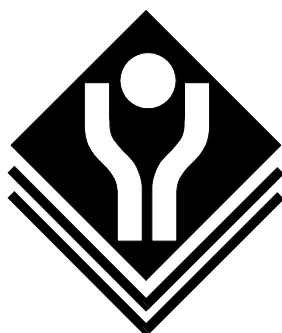


MINISTERE FEDERAL DE L'EMPLOI ET DU TRAVAIL  
ADMINISTRATION DE LA SECURITE DU TRAVAIL  
INSPECTION TECHNIQUE  
DIRECTION DES RISQUES CHIMIQUES

---

NOTE D'INFORMATION

---



## ETUDE DE SECURITE DES PROCÉDES

Un guide pratique pour l'analyse et la maîtrise  
des risques des procédés chimiques

---

référence: CRC/IN/002-F  
version 2  
date: 9 février 2001

---

---

Cette note d'information a été rédigée par:

Direction des risques chimiques  
Ministère Fédéral de L'emploi et du Travail  
Rue Belliard 51  
1040 Bruxelles

Rédaction finale: ir. Peter Vansina  
Traduction française: ir. Isabelle Rase

## TABLE DES MATIERES

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>LE CADRE REGLEMENTAIRE .....</b>	<b>5</b>
2.1.	LA LOI SUR LE BIEN-ETRE.....	5
2.2.	L'ARRETE ROYAL RELATIF A LA POLITIQUE DU BIEN-ETRE .....	6
2.3.	L'ACCORD DE COOPERATION .....	7
<b>3.</b>	<b>INTERPRETATION ET EXPLICATION DE LA REGLEMENTATION.....</b>	<b>10</b>
3.1.	LES DIFFERENTES PARTIES D'UNE ETUDE DE SECURITE .....	10
3.1.1.	<i>L'identification des dangers.....</i>	<i>10</i>
3.1.2.	<i>La définition et la détermination des risques .....</i>	<i>12</i>
3.1.3.	<i>L'évaluation des risques .....</i>	<i>13</i>
3.1.3.1	L'évaluation des risques résiduels .....	13
3.1.3.2	L'évaluation des risques intermédiaires .....	14
3.1.4.	<i>La détermination des mesures de prévention .....</i>	<i>15</i>
3.1.4.1	Eviter les risques .....	15
3.1.4.2	Eviter les dommages .....	16
3.1.4.3	Limiter les dommages .....	18
3.2.	ASPECTS DE GESTION LORS DE LA REALISATION DES ETUDES DE SECURITE .....	19
3.2.1.	<i>Une approche systématique de l'étude de sécurité .....</i>	<i>19</i>
3.2.2.	<i>La révision des études de sécurité .....</i>	<i>20</i>
3.2.2.1	La révision périodique.....	20
3.2.2.2	La révision suite aux accidents et incidents.....	21
<b>4.</b>	<b>LA REALISATION PRATIQUE DES ETUDES DE SECURITE .....</b>	<b>23</b>
4.1.	LE DEROULEMENT GENERAL D'UNE ETUDE DE SECURITE .....	23
4.2.	LES ETAPES INDIVIDUELLES .....	27
4.2.1.	<i>Etape 0: la division de l'installation.....</i>	<i>27</i>
4.2.2.	<i>Etape 1: l'inventoriage des sources de dommages.....</i>	<i>29</i>
4.2.2.1	Substances .....	30
4.2.2.2	Réactions.....	30
4.2.3.	<i>Etape 2: l'analyse des sources de dommages.....</i>	<i>31</i>
4.2.3.1	Les substances .....	31
4.2.3.1.1	Propriétés inhérentes .....	31
4.2.3.1.2	Propriétés liées à l'installation .....	33
4.2.3.2	Réactions.....	34
4.2.3.2.1	Propriétés inhérentes .....	34
4.2.3.2.2	Propriétés liées à l'installation .....	34
4.2.4.	<i>Etape 3: la définition des scénarios d'accidents.....</i>	<i>36</i>
4.2.5.	<i>Etape 4: l'identification des causes et des conséquences .....</i>	<i>37</i>
4.2.5.1	Check-lists.....	38
4.2.5.2	Analyse par l'arbre des causes .....	38
4.2.5.3	Hazop .....	38
4.2.6.	<i>Etape 5: la définition de la probabilité et de la gravité .....</i>	<i>40</i>
4.2.6.1	Le facteur de gravité.....	40
4.2.6.2	Le facteur de probabilité.....	41
4.2.6.3	Autres facteurs.....	41
4.2.7.	<i>Etape 6: l'évaluation des risques.....</i>	<i>42</i>
4.2.8.	<i>Etape 7: la détermination des mesures.....</i>	<i>44</i>
<b>5.</b>	<b>REFERENCES.....</b>	<b>48</b>

## 1. Introduction

Cette note constitue un guide pour la mise en pratique des prescriptions réglementaires liées à l'analyse des risques d'accidents majeurs et à la détermination des mesures nécessaires pour maîtriser ces risques. Les obstacles les plus importants en la matière sont explicités et des solutions concrètes sont proposées pour les éliminer.

Cette note se limite aux risques menaçant *les hommes* affectés au *fonctionnement* des installations de procédé. Les risques introduits par les *interventions* liées aux installations telles que les inspections, l'entretien et les réparations ne sont pas prises en considération.

Le point de vue développé ici n'a pas la prétention d'être la seule et absolue vérité. Le contenu de cette note n'a d'ailleurs aucun caractère obligatoire. D'autres pratiques sont donc également acceptables, pour autant qu'elles permettent d'assurer une application équivalente des prescriptions réglementaires.

La note est élaborée comme suit. Le chapitre 2 commence par décrire le cadre réglementaire. Le chapitre 3 interprète la réglementation et l'explique. Le chapitre 4 décrit une méthode de travail concrète permettant de mettre en pratique la réglementation.

## 2. Le cadre réglementaire

La réglementation en matière de sécurité du travail ne prévoit pas de prescriptions détaillées pour la protection des installations de procédés chimiques. Cela ne veut toutefois pas dire que la protection des procédés des industries (pétro)chimiques est une matière sans aucune exigence. La réglementation reprend en effet un certain nombre de dispositions générales relatives à l'exécution des analyses des risques et à la prise des mesures de prévention nécessaires.

Trois textes réglementaires formulent des dispositions importantes en matière d'analyse des risques et de prise de mesures de prévention, respectivement:

1. la loi du 4 août 1996 relative au bien être des travailleurs lors de l'exécution de leur travail;
2. l'arrêté royal du 27 mars 1998 relatif à la politique du bien-être des travailleurs lors de l'exécution de leur travail;
3. l'accord de coopération du 21 juin 1999 entre l'Etat fédéral, les Régions flamande et wallonne et la Région de Bruxelles-capitale concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses (appelé plus loin en abrégé accord de coopération).

### 2.1. La loi sur le bien-être

Le sujet de cette loi est naturellement plus vaste que la prévention des accidents majeurs. Le bien-être est défini comme un ensemble de facteurs dont fait partie la sécurité du travail. Au sein de la problématique de la sécurité du travail, la prévention des accidents majeurs (ayant des conséquences pour l'homme) en soi n'en est également qu'une partie. Il ne faut certainement pas en conclure que les principes de la loi sur le bien-être ne doivent uniquement être appliqués que partiellement ou dans une version assouplie en matière de prévention des accidents majeurs. C'est plutôt le contraire. La loi sur le bien-être impose de hautes exigences pour les mesures à prendre relative au bien-être. La sécurité du travail est la première priorité lors de la prise de ces mesures. En matière de sécurité du travail, la priorité est proportionnelle à la gravité des accidents possibles. Par conséquent, il est clair que la prévention des accidents majeurs (ayant des conséquences pour l'homme) prend une place très prioritaire au sein de la problématique du bien-être.

L'article 5 de la loi énumère les principes généraux de prévention, dont les suivants font partie:

- *éviter* les risques;
- *évaluer* les risques qui ne peuvent pas être évités;
- combattre les risques à la *source*;
- *remplacer* ce qui est *dangereux* par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux;
- donner la priorité aux mesures de protection *collectives* plutôt qu'aux mesures de protection individuelles;
- adapter le travail à l'homme;
- limiter, autant que possible, les risques compte tenu de l'*état de l'évolution de la technique*;
- limiter les risques de lésions *graves* en prenant des mesures *matérielles* par priorité à toute autre mesure;
- *planifier* la prévention;
- exécuter une *politique* concernant le bien-être des travailleurs;

- implémenter une approche de *système* qui intègre entre autres la technique et l'organisation.

## 2.2. L'arrêté royal relatif à la politique du bien-être

Cet arrêté royal est un arrêté d'exécution de la loi du bien-être et est repris dans le code sur le bien-être au travail sous le titre I "Principes généraux", chapitre III "Principes généraux relatifs à la politique du bien-être".

L'approche structurelle et planifiée décrite à l'article 5 de la loi sur le bien-être doit être réalisée à l'aide de ce que l'on nomme un "système dynamique de gestion des risques". Celui-ci est constitué d'éléments propres à tout système de gestion (article 5):

1. l'élaboration des *objectifs* de la politique;
2. la détermination de *méthodes*, d'obligations et de moyens;
3. la détermination des *responsabilités* pour mettre en œuvre la politique;
4. la détermination de *critères* d'évaluation de la politique et l'évaluation de la politique.

Un système de gestion ne peut jamais être statique mais doit constamment être adapté aux circonstances toujours changeantes.

Une partie essentielle du système dynamique de gestion des risques est l'exécution d'analyses des risques. L'article 7 dit à ce sujet:

"L'employeur développe, dans son système dynamique de gestion des risques, une stratégie relative à la réalisation d'une analyse des risques sur base de laquelle sont déterminées des mesures de prévention, compte tenu des dispositions des articles 8 et 9".

L'article 8 reprend un certain nombre de prescriptions relatives à l'exécution des analyses des risques. Une analyse des risques se compose *successivement* de:

1. l'identification des *dangers*;
2. la définition et la détermination des *risques*;
3. l'*évaluation* des risques.

En ce qui concerne la prise des mesures de prévention, un certain ordre est également imposé. D'après l'article 9, les mesures de prévention doivent viser certains objectifs et ceux-ci sont, par ordre de priorité décroissant:

1. *éviter les risques*;
2. *éviter les dommages*;
3. *limiter les dommages*.

Il faut ensuite examiner si les mesures de prévention n'introduisent pas elles-mêmes des risques supplémentaires et, si c'est le cas, d'autres mesures de prévention doivent être prises ou des mesures complémentaires doivent être prises afin de gérer ces risques.

Les mesures de prévention comprennent en fait une très large gamme de mesures. L'article 9 stipule que les mesures de prévention ont notamment trait à:

- 1° l'organisation de l'entreprise ou de l'institution, y compris les méthodes de travail et de production utilisées;
- 2° l'aménagement du lieu de travail;
- 3° la conception et l'adaptation du poste de travail;

- 4° le choix et l'utilisation d'équipements de travail et de substances ou de préparations chimiques;
- 5° la protection contre les risques liés aux agents chimiques, biologiques et physiques;
- 6° le choix et l'utilisation d'équipements de protection collective et individuelle et de vêtements de travail;
- 7° l'application d'une signalisation adaptée en matière de sécurité et de santé;
- 8° la surveillance de la santé, y compris les examens médicaux;
- 9° la charge psycho-sociale occasionnées par le travail;
- 10° la compétence, la formation et l'information de tous les travailleurs, y compris les instructions adéquates;
- 11° la coordination sur le lieu de travail;
- 12° les procédures d'urgence, y compris les mesures en cas de situation de danger grave et immédiat et celles concernant les premiers secours, la lutte contre l'incendie et l'évacuation des travailleurs.

Un certain nombre de ces mesures sont très reconnaissables en tant que mesure de prévention car elles ont exclusivement une fonction de prévention, comme par exemple le choix et l'utilisation des équipements de protection collective et individuelle, les procédures d'urgence, la signalisation de sécurité et de santé, la surveillance de la santé.

Il est peut être moins évident qu'un certain nombre de choix fondamentaux dans l'entreprise doivent également être considérés comme mesures de prévention, comme par exemple le choix des méthodes de travail et de production utilisées, le choix des substances et préparations chimiques, le choix des équipements de travail, l'aménagement des lieux de travail et la conception d'un poste de travail. Il va de soi, qu'en pratique, ces choix sont guidés en grosse partie par des facteurs économiques mais ne supprime pas l'obligation de prendre la sécurité en compte lors de ces choix. En d'autres mots, la sécurité doit faire partie intégralement de l'activité de l'entreprise et ne doit pas se limiter à une "couche protectrice".

Remarquons pour conclure que l'ensemble du système de gestion de la sécurité doit être considéré comme une mesure de prévention. Il décrit en fin de compte les aspects de l'organisation de l'entreprise (premier point sur la liste) relatifs à la prévention.

### **2.3. L'accord de coopération**

L'accord de coopération implémente en droit belge la directive européenne 96/82/CE du 9 décembre 1996 concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses. Cette directive est communément appelée la directive "Seveso II". L'accord de coopération aura force de loi lorsqu'il sera approuvé par une loi, un décret et une ordonnance. Au moment de la rédaction de cette note, ce n'est pas encore le cas.

La directive "Seveso II" a comme objectif la *prévention* des accidents majeurs et la *limitation* de leurs *conséquences* pour l'homme (et l'environnement) et la directive vise pour cela un niveau de protection *élevé* (article 1 de l'accord de coopération). Un accident majeur est défini à l'article 4 comme suit:

- 7° accident majeur: 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.

L'annexe V de l'accord de coopération reprend un certain nombre de critères quantitatifs pouvant être utilisés comme guide lors de l'interprétation de la définition d'accident majeur.

La directive “Seveso II” formule un certain nombre d'obligations à l'égard des exploitants des établissements soumis à la directive, mais également à l'égard des Etats membres. Les obligations des exploitants sont reprises intégralement dans l'accord de coopération, bien qu'elles soient parfois légèrement modifiées dans leur formulation. L'accord de coopération attribue également les obligations des Etats membres aux autorités compétentes et la collaboration entre ces instances est également décrite.

L'article 3 de l'accord de coopération fait une différence entre deux types d'établissements, qui, par la suite et pour des raisons de facilité, seront appelés les établissements “seuil 1” et les établissements “seuil 2”. Dans les établissements “seuil 1”, les substances dangereuses sont présentes en quantité plus *grande* ou *égale* à la quantité mentionnée à la *colonne 2* de l'annexe I, parties 1 et 2, mais *plus petite* que la quantité mentionnée à la *colonne 3* de la même annexe. La colonne 2 constitue la “première” et la plus basse valeur seuil, la colonne 3 la “deuxième” et la plus haute valeur seuil. Les établissements “seuil 2” sont les entreprises au sein desquelles les substances dangereuses sont présentes en quantités *égales* ou *supérieure* à la “deuxième” valeur seuil.

Suivant l'article 9, l'exploitant d'un établissement “seuil 1” doit *rédiger* un document définissant sa politique de prévention des accidents majeurs et l'appliquer correctement. Cette politique doit garantir un niveau *élevé* de protection de l'homme et de l'environnement. La mise par écrit d'une politique de prévention ne se résume pas à la formulation d'objectifs et de principes généraux. L'exploitant doit décrire *comment* la politique de prévention est *mise en pratique* et, plus concrètement, la manière suivant laquelle un certain nombre d'activités sont *organisées* au sein de l'établissement. Ces activités comprennent entre autres (article 9 - § 2 - 2°):

- point c: l'identification des dangers et l'évaluation des risques d'accidents majeurs;
- point 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.

L'article 10 décrit des obligations analogues à l'égard des exploitants des établissements “seuil 2”. Ils doivent également mener une politique de prévention des accidents majeurs garantissant un niveau élevé de protection pour l'homme (et l'environnement). Il va de soi que cette politique doit également être fixée *par écrit*. La mise en œuvre de cette politique doit être faite à l'aide d'un système efficace de gestion de la sécurité. Les éléments suivants sont entre autres abordés dans ce système (article 10 - § 2):

- 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 aux installations, procédés et aires de stockage existants.



Tout comme l'arrêté royal relatif à la politique du bien-être, l'accord de coopération fait une distinction entre “danger” et “risque”. Les deux concepts sont définis à l'article 4:

- 8° danger: la propriété *intrinsèque* d'une substance dangereuse ou d'une situation physique de *pouvoir* provoquer des dommages pour la santé humaine ou l'environnement;
- 9° risque: la *probabilité* qu'un effet spécifique se produise dans une *période* donnée ou dans des *circonstances* déterminées.

Enfin, il est important de citer dans ce contexte l'article 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.”

Il va de soi que l'identification et l'analyse des dangers et des risques sont des valeurs essentielles pour pouvoir maîtriser les risques d'accidents majeurs d'une manière efficace. L'article 7 va toutefois plus loin:

“L'exploitant doit à *tout moment* pouvoir *prouver* aux services d'inspection compétents, ..., qu'il a pris *toutes les mesures nécessaires* prévues par le présent accord de coopération.”

La question la plus fondamentale (mais évidemment pas l'unique) à laquelle l'exploitant doit pouvoir répondre aux services d'inspection compétents est la suivante: *quelles* sont les mesures de prévention prises et *pourquoi*? Il doit être capable de répondre à cette question, à *tout moment*, c'est-à-dire sans préparation, et ce, d'une façon *convainquante*. En ce qui concerne les mesures prises au niveau des installations, cela ne peut se faire que si l'exploitant dispose d'un document donnant, *d'une manière structurée, un aperçu* de *tous* les dangers et les risques d'accidents majeurs, ainsi que de *toutes* les mesures de prévention correspondantes, et ce, pour chaque installation concernée. La structure de cet aperçu doit être d'une qualité telle qu'elle inspire confiance en ce qui concerne le caractère complet des dangers et des risques identifiés et des mesures qui en découlent, ou en d'autres mots, en ce qui concerne le fait que *tous* les dangers et les risques sont identifiés et que *toutes* les mesures nécessaires sont prises (au niveau des installations). De plus, la structure doit faire apparaître d'une manière claire le *lien* entre les dangers, les risques et les mesures. Ceci constitue la première étape essentielle afin de prouver *pourquoi* l'exploitant est convaincu qu'avec les mesures prises, les risques d'accidents majeurs sont “suffisamment” maîtrisés. Il va de soi qu'un tel document doit être actuel et qu'il doit reprendre les résultats des études de sécurité les plus récentes. Pour les établissements “seuil 2”, un tel document sert de base pour le rapport de sécurité.

En simplifiant fortement, les obligations de l'exploitant des entreprises “Seveso” en matière d'études de sécurité peuvent être résumées comme suit:

- les études de sécurité nécessaires doivent être *réalisées* (comme dans toutes les entreprises);
- les *résultats* de ces études de sécurité, c'est-à-dire tous les dangers et risques identifiés et toutes les mesures de prévention prises, doivent être *documentés* d'une manière ordonnée et structurée;
- *l'organisation et la manière de réaliser* les études de sécurité doivent faire l'œuvre de *documents écrits*.

### 3. Interprétation et explication de la réglementation

#### 3.1. Les différentes parties d'une étude de sécurité

Dans cette note nous définissons “une étude de sécurité” comme une combinaison d'une analyse des risques et de la détermination des mesures de prévention.

L'arrêté royal relatif à la politique de prévention détermine qu'une analyse des risques est composée de trois parties à exécuter successivement, respectivement:

1. l'identification des dangers;
2. la définition et la détermination des risques;
3. l'évaluation des risques.

En plus de ces trois parties, la détermination des mesures de prévention constitue une quatrième partie de l'étude de sécurité. Les mesures de prévention doivent être définies sur base de l'analyse des risques. Cela ne veut cependant pas dire que cette partie doit seulement être effectuée après que l'analyse des risques soit complètement terminée. La détermination des mesures de prévention est une étape qui se déroule parallèlement aux trois autres étapes de l'analyse des risques, comme illustré à la figure 3.1.

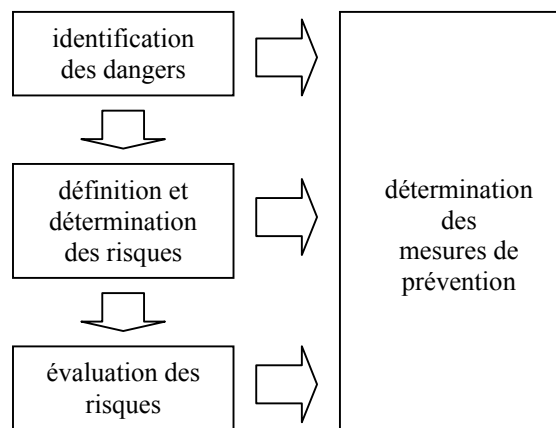


Figure 3.1. Les quatre parties d'une étude de sécurité

Chacune des différentes parties d'une étude de sécurité est expliquée séparément ci-dessous.

##### 3.1.1. L'identification des dangers

L'arrêté royal relatif à la politique du bien-être ne définit pas la notion de “danger”. La directive “Seveso II” reprend la définition suivante:

*Le danger est la propriété intrinsèque d'une substance dangereuse ou d'une situation physique de pouvoir provoquer des dommages pour la santé humaine (et/ou l'environnement).*

Dans cette définition, la notion de “situation physique” peut être largement interprétée. Pour chacune des “situations physiques” suivantes, on peut par exemple dire qu'elle peut provoquer des dommages:

- la présence de 200 tonnes de LPG dans une sphère de stockage;
- une surpression dans cette sphère;
- une fuite de LPG de cette sphère;
- le nuage de LPG naissant suite à la fuite;
- l'explosion de ce nuage gazeux.

Chaque maillon de la chaîne des événements conduisant à un accident, peut être considéré comme une “situation physique pouvant provoquer des dommages”.

La Direction des risques chimiques donne cependant la préférence à une stricte interprétation de cette définition. La situation physique dont il est question dans la définition est limitée à une situation qui *introduit* la *possibilité* d'occasionner des dommages et qui est déterminante pour l'ampleur *potentielle* (c'est à dire maximale) des dommages qui peuvent être occasionnés. Dans l'exemple ci-dessus, la présence de gaz pétroliers introduit les risques d'incendie et d'explosion. Le fait que ces gaz soient liquéfiés sous pression et présents en quantité de 200 tonnes, détermine l'ampleur potentielle des dommages suite à une libération indésirée des gaz.

Au lieu de parler d'une “substance dangereuse ou d'une situation physique”, on peut également parler de “source de dommages”. Le danger est alors, dans ce cas, la propriété intrinsèque d'une “source de dommages”. Avec cette interprétation plus stricte du “danger”, “l'identification des dangers” signifie donc:

- l'inventarisation des sources de dommages;
- l'analyse des sources de dommages, c'est-à-dire rechercher les propriétés des sources de dommages qui sont déterminantes pour les dommages potentiels pouvant être introduits par leur présence.

Dans le contexte des accidents majeurs, les sources de dommages sont les substances chimiques et les réactions.

Que les substances puissent être des sources de dommages va de soi. Les propriétés d'une substance qui sont déterminantes pour le potentiel de dommages qu'elles peuvent causer, sont, d'une part leurs propriétés chimiques et physiques inhérentes et, d'autre part, un certain nombre de propriétés liées à l'installation comme, par exemple, l'état d'agrégation (gaz, liquide), la quantité, la pression et la température à laquelle elle est présente.

Nous considérons également les réactions chimiques comme des sources de dommages. Certaines réactions chimiques peuvent, après tout, conduire à une augmentation de la pression et/ou de la température dans une partie de l'installation avec, comme conséquence, une défaillance explosive de cette partie. Tout comme pour les substances, le potentiel de dommages d'une réaction est déterminé par une combinaison d'une série de propriétés inhérentes à la réaction d'une part, et d'autre part, par les conditions dans lesquelles la réaction a lieu. Ceci est explicité plus en détail dans le chapitre 4.

Avec cette interprétation stricte de la notion de “danger”, il est très facile de comprendre pourquoi la réglementation demande de toujours commencer l'analyse des risques par l'identification des dangers. Rechercher des scénarios d'accidents possibles n'a pas de sens si l'on ne sait pas où se trouvent les sources de dommages et quelles sont leurs propriétés. Un accident est en fait un

événement, un concours de circonstances, lors desquelles la source de dommages exprime son caractère nuisible dommageable sur une victime.

Dans un certain nombre de cas, les sources de dommages sautent aux yeux et l'on recherchera automatiquement les scénarios appropriés. Lors de l'analyse des risques d'un réservoir d'essence, on recherchera par exemple les possibilités de libération de l'essence et les sources d'inflammation possibles. Dans d'autres cas, les dangers ne sont pas aussi évidents. Pensons par exemple à une réaction exothermique incontrôlée dans un réacteur batch ou à une auto-inflammation de substances instables. C'est précisément à cause de telles propriétés plus “complexe” des substances et des réactions qu'une analyse des dangers formelle constitue une nécessité absolue.

La connaissance des dangers n'est pas uniquement nécessaire à la détermination des risques correspondants mais également pour la prise des mesures de prévention qui peuvent éliminer des dangers ou les diminuer. Comme il sera expliqué au chapitre 3.1.4, de telles mesures doivent recevoir la plus *haute* priorité.

Afin d'être complet, mentionnons encore qu'il est question dans la directive “Seveso II” et dans l'accord de coopération de “dangers d'accidents majeurs”. Ceci est une traduction littérale de “major accident hazards”. Un “danger d'accident majeur” doit être considéré comme une notion en soi. Les définitions de “danger” et “d'accident majeur” issues de l'accord de coopération ne sont en fait pas combinables. L'article 12 de l'accord de coopération définit clairement ce que l'on entend par “danger d'accident majeur”. D'après cet article, le rapport de sécurité doit prouver que les “dangers d'accidents majeurs” ont été identifiés. Lorsque l'on va voir à l'annexe II de l'accord de coopération quelles sont les informations qui doivent pour cela être reprises dans le rapport de sécurité, on peut seulement conclure que, par “dangers d'accidents majeurs”, on entend en réalité les “scénarios des accidents majeurs possibles” (cfr. annexe II, partie IV, point A).

### **3.1.2. La définition et la détermination des risques**

Tout comme pour la notion de “danger”, l'arrêté royal relatif à la politique du bien-être ne donne aucune définition de la notion de “risque”. Le risque est souvent défini comme une combinaison d'une gravité et d'une probabilité. La directive “Seveso II” définit le risque comme suit:

*“Le risque est la probabilité qu'un effet spécifique se produise dans une période donnée ou dans des circonstances déterminées.”*

Quelque soit la définition considérée, la définition et la détermination des risques se composent des activités suivantes:

1. la définition des scénarios d'accidents;
2. l'identification des causes et des conséquences des scénarios d'accidents;
3. l'estimation de la probabilité et de la gravité de ces scénarios.

Dans le contexte de cette note, les scénarios d'accidents sont des libérations indésirées de substances dangereuses et/ou de quantité dangereuse d'énergie hors de l'installation.

La détermination des causes et des conséquences de ces libérations indésirées est nécessaire pour l'évaluation de la probabilité et de la gravité d'une éventuelle libération et pour pouvoir prendre les mesures de prévention nécessaires. La connaissance des *causes* permet de déterminer les mesures de prévention qui rendent ces libérations moins probables. La connaissance des *conséquences* permet de tirer les mesures permettant de limiter les dommages possibles de ces libérations.

La détermination de la probabilité et de la gravité de ces scénarios est une préparation pour la partie suivante de l'étude de sécurité: l'évaluation des risques. La manière suivant laquelle la probabilité et la gravité sont déterminés et exprimés est ainsi fonction de la manière suivant laquelle l'évaluation des risques est réalisée.

### **3.1.3. L'évaluation des risques**

L'évaluation d'un risque consiste à émettre un jugement sur celui-ci: accepte-t-on le risque ou pas, va-t-on le réduire plus ou pas, et si oui: dans quelle mesure.

L'évaluation du risque ne peut se faire d'une manière conséquente et objective uniquement que si l'on répond aux questions formulées ci-dessus à l'aide de ce que l'on appelle des critères d'évaluation des risques. Sans de tels critères, la détermination des mesures de prévention devient une activité totalement subjective et incontrôlée. Certains risques seront "surprotégés" ce qui signifie une perte économique pour l'entreprise, d'autres risques seront "sousprotégés" ce qui expose l'entreprise à des risques non acceptables.

En ce qui concerne ces critères d'évaluation des risques, on peut distinguer deux méthodes d'approche: l'évaluation des risques résiduels et l'évaluation des risques intermédiaires.

#### **3.1.3.1 L'évaluation des risques résiduels**

Dans cette approche, le risque résiduel est calculé à l'aide de techniques de l'analyse quantitative des risques. Le risque résiduel est le risque qui subsiste après que toutes les mesures de prévention aient été prises en compte. L'évaluation du risque se fait par comparaison avec une "valeur acceptable".

Pour calculer les probabilités d'un certain effet ou d'un certain scénario, on doit disposer d'arbres des causes corrects et complets, et de valeurs fiables des probabilités de défaillance des événements dans ces arbres des causes. Ces arbres des causes peuvent être très développés et complexes vu que l'on tient compte du système complet, y compris les sécurités.

Pour le calcul de la gravité, il est fait appel à des modèles mathématiques. Ceux-ci ne donnent normalement des résultats sensés que pour des grandes distances. Des libérations limitées et des effets locaux peuvent toutefois également donner lieu à des accidents majeurs.

La réalisation d'une analyse quantitative des risques est complexe, prend beaucoup de temps et exige un niveau de compétence très élevé des exécutants. C'est pourquoi des analyses quantitatives des risques ne se font en pratique uniquement que pour l'évaluation de situations très spécifiques, comme par exemple le risque d'une installation vis à vis de l'environnement ou la localisation d'une salle de contrôle dans un complexe chimique. Dans de tels cas où la décision relative à l'acceptabilité du risque a des conséquences financières énormes ou un impact social important, le caractère scientifique et objectif propre à la méthode de l'analyse quantitative des risques peut être un atout important.

Une analyse des risques des installations de procédé ne peut toutefois pas se limiter à certaines questions spécifiques comme les effets sur l'environnement. Pour *chaque* partie pouvant libérer suffisamment de substances dangereuses que pour occasionner un accident majeur se pose la question: quels sont les risques d'une telle libération et ces risques sont-ils suffisamment maîtrisés?

Réaliser une analyse quantitative poussée des risques sur chaque partie de l'installation exigerait également un énorme effort. C'est pourquoi un certain nombre d'entreprises ont développé des méthodes *simplifiées* pour l'évaluation des risques qui permettent d'estimer les risques d'une manière efficace et de prendre des décisions concernant les mesures de prévention. Ces méthodes simplifiées sont basées sur une estimation du risque intermédiaire.

### 3.1.3.2 L'évaluation des risques intermédiaires

Par risque *intermédiaire*, on entend: le risque en faisant abstraction des certaines mesures de prévention. On n'estime donc pour ainsi dire pas la conception finale, en d'autres mots l'installation entièrement équipée, mais une conception intermédiaire, une version “non complètement équipée” de l'installation. En pratique, on déterminera la plupart du temps le risque d'une installation, *y compris* les systèmes de contrôle, mais *sans* les systèmes de sécurité. Sur base de ce risque intermédiaire, on prend des décisions relatives à la qualité des mesures complémentaires (par ex. les systèmes de sécurité) afin de réduire davantage le risque intermédiaire.

En pratique, on ne travaille pas avec une échelle continue de gravité et de probabilité mais avec un certain nombre de classes discrètes de ces valeurs. Ces classes de gravité et de probabilité peuvent être combinées en classes de risque. La manière la plus évidente pour ce faire est d'utiliser la matrice des risques. Certaines méthodologies, comme la norme allemande DIN V 19250 spécifie encore d'autres facteurs qui sont combinés à la gravité et à la probabilité dans ce que l'on appelle le “graphe de risque” (“risicograaf”). Certaines entreprises ne tiennent pas du tout compte de la probabilité et considèrent donc une classification unidimensionnelle sur base de la gravité. Dans ce cas on parle alors d'une évaluation “déterministe” des risques à l'opposé de l'évaluation “probabiliste” des risques qui prend, elle, également en compte la probabilité.

Dans cette méthode de travail, les critères d'évaluation des risques consistent en un certain nombre de spécifications imposées, par classe de risque, aux mesures qui doivent davantage réduire le risque intermédiaire. A la place de risques acceptables, comme il est question dans l'évaluation des risques résiduels, on travaille avec des mesures acceptables.

Les exigences que les critères d'évaluation des risques imposent aux mesures de prévention en fonction des classes de risques peuvent prendre différentes formes. On peut par exemple spécifier la fiabilité souhaitée des mesures. Une autre possibilité consiste à décrire un certain nombre de conditions devant être respectées lors de la conception des mesures (et qui assurent qu'elles réduisent suffisamment le risque), par exemple la présence de deux sécurités indépendantes. Enfin, des exigences quantitatives et qualitatives peuvent également être combinées. La norme IEC 61508 en est un exemple puisqu'elle définit des intervalles de fiabilité pour des protections instrumentales, appelés “classes SIL”. Pour chaque “classe SIL” cependant, un certain nombre de conditions annexes sont également décrites.

Une étude plus approfondie de l'évaluation des risques et de la manière suivant laquelle elle est utilisée lors de la définition des boucles de sécurité instrumentales est reprise à la référence [1]. Dans la référence [2], un certain nombre d'entreprises expliquent comment elles ont implémenté des critères d'évaluation des risques.

Il ressort de l'expérience issue des inspections de la Direction des risques chimiques que l'évaluation des risques intermédiaires est la *seule* méthode de travail réalisable en pratique afin

d'estimer et d'évaluer *tous* les risques. Les analyses quantitatives des risques sont en effet en pratique uniquement réalisées pour les risques externes ou pour des problèmes très spécifiques. De plus il est constaté que seul un nombre *limité* d'entreprises dispose de critères d'évaluation des risques et réussit à les appliquer d'une manière conséquente à toutes leurs installations. La détermination de critères d'évaluation des risques pour les risques intermédiaires sera pour beaucoup d'entreprises une des tâches les *plus prioritaires* afin de se mettre en conformité avec les prescriptions réglementaires en matière d'étude de sécurité.

### 3.1.4. La détermination des mesures de prévention

La réglementation ne reprend pas de prescriptions techniques détaillées en matière de maîtrise des accidents majeurs. Elle indique par contre clairement la stratégie devant être suivie lors de la réduction des risques:

1. *éviter les risques;*
2. *éviter les dommages;*
3. *limiter les dommages.*

Ce que signifie ces stratégies dans le cadre de la prévention des accidents majeurs est expliqué ci-dessous.

#### 3.1.4.1 Éviter les risques

Les risques d'accidents majeurs dont il est question dans cette note sont des libérations indésirées de substances dangereuses ou d'une quantité dangereuse d'énergie hors d'une installation de procédé (ou une combinaison des deux). Éviter de tels risques signifie éliminer la *possibilité de survenance* de tels scénarios ou en diminuer la *gravité potentielle*. Pour cela, on doit intervenir sur les sources de dommages (substances et réactions).

Ci-dessus (cfr. point 3.1.1.) une distinction a été faite entre les propriétés inhérentes et les propriétés liées à l'installation des sources de dommages. Agir sur les propriétés inhérentes des sources de dommages revient en fait à choisir d'autres substances ou réactions. Le tableau 3.1 donne un aperçu des mesures possibles pour éviter les risques dans l'industrie des procédés.

Tableau 3.1  
Mesures possibles pour éviter les risques dans l'industrie des procédés.

	substances	réactions
agir sur les propriétés inhérentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• choisir une substance moins dangereuse</li> <li>• utiliser une substance dans des concentrations moins dangereuses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• choisir un chemin réactionnel moins dangereux</li> </ul>
agir sur les propriétés liées à l'installation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• limiter les quantités (installations compactes, éliminer les stockages intermédiaires, ...)</li> <li>• changer de pression et de température</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• choisir un type de réacteur plus sûr (par ex. un réacteur tubulaire plutôt qu'un réacteur cuve)</li> <li>• choisir des conditions de procédé plus sûrs (quantités, pression, température)</li> </ul>

Les mesures pour éviter les risques rendent le procédé plus sûr d'une manière *inhérente*. On peut trouver une étude plus détaillée sur les principes de sécurité inhérente dans l'industrie des procédés aux références [3] et [4].

#### 3.1.4.2 Éviter les dommages

Dans le contexte de cette note, éviter les dommages signifie éviter les libérations indésirées en diminuant la probabilité de libération. On peut distinguer les mesures *passives* et les mesures *actives*.

Les mesures passives ne demandent aucun fonctionnement actif d'un appareil ou intervention d'une personne. Elles remplissent toujours leur fonction. La résistance à la pression d'un fût ou la résistance à la corrosion d'une tuyauterie sont des exemples de mesures passives.

Les mesures actives demandent par contre un fonctionnement actif d'un appareil ou une intervention humaine. Dans le cas où la mesure est *complètement* automatique, sans aucune intervention humaine, on parle alors de mesures matérielles. Pour les mesures procédurales, une intervention humaine est attendue (par exemple une alarme suivie d'une certaine action de la part de l'opérateur d'écran). La loi sur le bien-être demande de limiter les risques de lésions graves en prenant des mesures matérielles par priorité à toute autre mesure (par exemple procédurale).

Dans l'industrie des procédés, les mesures actives doivent être cataloguées dans les systèmes de contrôle et de sécurité. Les systèmes de contrôle assurent que le procédé se déroule d'une manière "normale", souhaitée. Les systèmes de sécurité n'entrent uniquement en action que lors de conditions anormales, lorsqu'une situation dangereuse menace de se développer. Ces systèmes détectent une déviation "dangereuse" et interviennent dans le déroulement ultérieur du procédé. Cette intervention peut impliquer:

- qu'une étape ultérieure du procédé est empêchée (verrouillage);
- que le procédé est mis à l'arrêt (shut down);
- que la déviation est annulée et que le procédé retourne aux conditions de travail normales et sûres;
- que les effets indésirés pouvant résulter de la déviation dangereuse sont réduits à un niveau acceptable (par ex. la décharge de produits dangereux via une soupape de sécurité).

Les systèmes de sécurité ont uniquement une fonction de sécurité et sont par conséquent indépendant des systèmes de contrôle.

Le rôle du système de contrôle et du système de sécurité pour un paramètre critique de sécurité qui est mesuré et corrigé en continu est illustré à la figure 3.1.



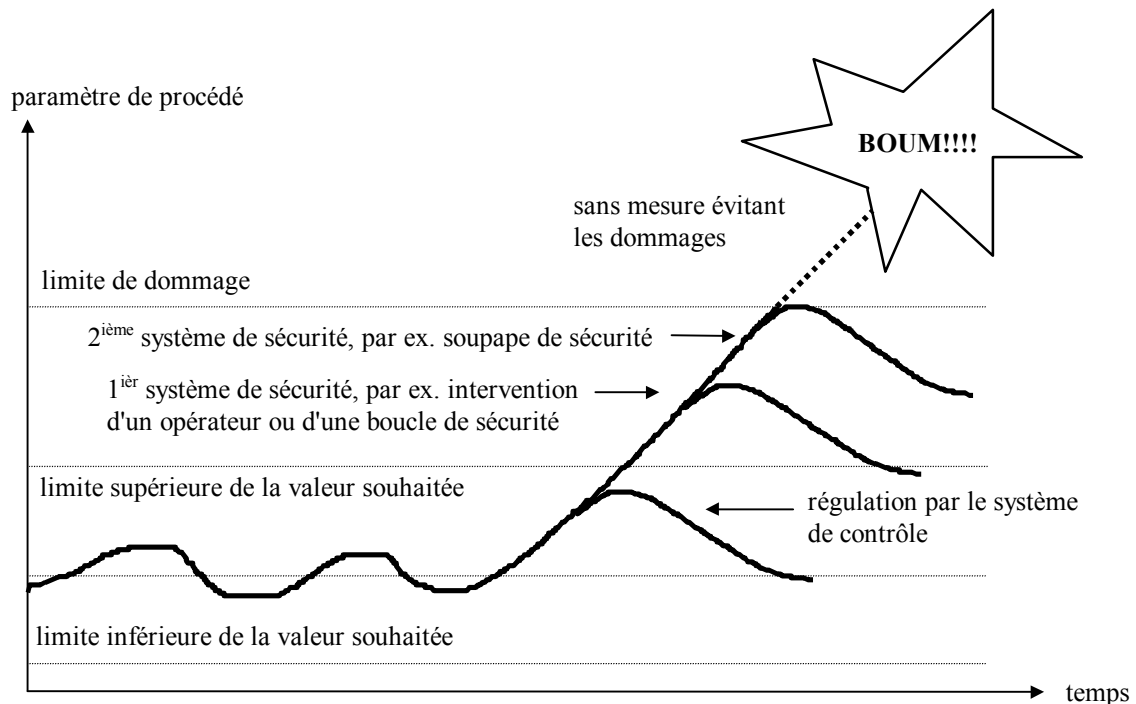


Figure 3.1: La fonction du système de contrôle et de sécurité pour un paramètre de procédé

Lors de la détermination des mesures de prévention qui évitent les dommages, on doit tendre à une haute disponibilité. Pour cela les règles suivantes peuvent être appliquées.

- Les mesures passives ont une plus haute disponibilité que les mesures actives.  
Notons que les mesures passives ne sont pas des mesures de sécurité inhérentes. Elles peuvent en effet défaillir. La probabilité de cette défaillance est toutefois normalement bien plus petite que celle attribuée aux mesures actives. On peut par conséquent affirmer que les mesures passives sont **plus sûres**, d'une manière inhérente, que les actives.
- Les systèmes autonomes ont une plus grande disponibilité que les systèmes nécessitant une source d'énergie externe.  
Une soupape de sécurité ou un disque de rupture sont des exemples de système autonome. Les conditions anormales suffisent elles-mêmes à activer la protection. Une boucle de sécurité contre une haute pression a par contre besoin d'une source d'énergie externe pour exercer sa fonction. Notons que les soupapes de sécurité ne peuvent uniquement être considérées comme des mesures éliminant les dommages que si elles sont bien dimensionnées et si les substances libérées sont évacuées d'une manière sûre.
- On peut atteindre une plus haute disponibilité avec des mesures matérielles que des mesures procédurales.
- La disponibilité des systèmes peut être augmentée en prévoyant des redondances.  
Lors de redondance, deux ou plusieurs sécurités travaillent en "parallèle", de telle manière que lorsqu'une "branche" du système de sécurité défaille, une ou plusieurs "branches" sont encore disponibles pour assurer la fonction de sécurité. Si l'on fait confiance à la redondance pour augmenter la disponibilité des systèmes de sécurité, il faut toutefois bien être conscient des "common cause failures" possibles pour lesquelles, à la suite d'une seule faute, les deux systèmes sont simultanément anéantis. C'est pourquoi l'utilisation de composants hardware identiques et de software identiques dans les différentes "branches" de sécurité doit être évitée.
- Les boucles instrumentales ou des parties de celles-ci peuvent être pourvues d'autodiagnostiques grâce auxquels certaines défaillances sont directement détectées et peuvent rapidement être remédiées.
- Lors de mesures continues, une modification des valeurs mesurées donne une indication relative au fonctionnement de la mesure; lors de mesures discontinues ou de "switches"

ce n'est pas le cas. Les mesures continues fournissent donc en principe un diagnostic permanent aux opérateurs d'écran.

### 3.1.4.3 Limiter les dommages

La dernière priorité lors de la détermination des mesures de prévention est la limitation des dommages.

Les mesures limitant les dommages peuvent être classées en deux grands groupes:

1. les mesures relatives à la nature et à l'ampleur de la *libération*;
2. les mesures relatives à la *protection* des personnes.

Les stratégies les plus importantes pouvant être suivies en matière de nature et d'ampleur de la libération sont énumérées ci-dessous.

- Influencer la nature de la libération.  
Un exemple de cette stratégie est la soupape de sécurité lorsque celle-ci ramène l'explosion ou la rupture totale d'un réservoir sous pression à une émission de substances dangereuses (à un seul endroit et en quantités telles que cette émission est aussi à considérer comme un risque d'accident majeur). Un autre exemple est un "weak seam roof" (liaison fragile entre le toit et les parois) sur un réservoir atmosphérique de stockage. Celui-ci permet à ce qu'une surpression interne ne conduise pas à une rupture fatale du réservoir mais à une déchirure du toit.
- Limiter les quantités libérées.  
Pour cela on peut par exemple utiliser des limiteurs de débit ou des vannes à fermeture rapide (Emergency Block Valves).
- Combattre la dispersion des liquides libérés.  
La dispersion peut être combattue à l'aide d'encuvements et de systèmes d'évacuation.
- Combattre l'évaporation des liquides libérés.  
L'évaporation d'une flaque peut être ralentie en prévoyant un sol lisse qui réduit au minimum la surface de contact. Une autre possibilité consiste à recouvrir le liquide avec un produit plus léger.
- Combattre la dispersion des vapeurs ou des gaz toxiques.  
Cela peut être réalisé en plaçant l'installation de procédé dans un bâtiment. Des rideaux d'eau peuvent également être mis en place pour combattre la dispersion des nuages gazeux.
- Favoriser la dilution des vapeurs ou des gaz inflammables libérés.  
La probabilité de formation d'un mélange explosif est diminuée en plaçant l'installation en plein air en tendant de minimaliser les barrières à la ventilation naturelle. En espace clos, une ventilation forcée peut être utilisée.
- Combattre l'inflammation des vapeurs et des gaz inflammables.
- Combattre le feu.
- Mesures de lutte contre le feu appropriées.

En ce qui concerne la protection des personnes, la stratégie suivante peut être suivie.

- Limiter la présence des personnes.  
Par exemple en limitant ou empêchant l'accès des zones dangereuses.
- L'évacuation des personnes des zones dangereuses en cas de calamité.
- "L'enveloppement" collectif des personnes.  
Les salles de contrôle renforcées en sont un exemple.
- "L"enveloppement" individuel des personnes en utilisant des équipements de protection individuelle.
- L'accueil et les soins des éventuels victimes.

## 3.2. Aspects de gestion lors de la réalisation des études de sécurité

### 3.2.1. Une approche systématique de l'étude de sécurité

Il ne suffit pas que les exploitants des entreprises soumises à l'accord de coopération *réalisent* des études de sécurité. La directive stipule très explicitement que de telles entreprises doivent disposer de “*procédures pour l'identification systématique des risques d'accidents majeurs ... ainsi que pour l'évaluation des risques qui y sont liés*”.

En ce qui concerne les mesures prises pour limiter ces risques, l'accord de coopération demande un niveau de protection **élevé**.

Une approche systématique suppose que l'on suive, lors de la réalisation de l'étude de sécurité, une méthode de travail bien définie et bien décrite. Cela doit assurer que les études de sécurité soient d'une grande qualité. L'intégralité et l'objectivité sont les deux qualités qui doivent être visées lors de la réalisation d'une étude de sécurité.

L'intégralité est à l'ordre du jour lors de:

- l'identification des sources de dommages: *toutes* les substances et réactions sont-elles connues, y compris les indésirées?
- l'analyse des sources de dommages: *toutes* les propriétés pertinentes des sources de dommages sont-elles connues?
- la définition des scénarios d'accidents et la recherche des causes: *toutes* les causes des libérations indésirées sont-elles connues?

La méthode de travail suivie doit assurer que toutes les parties de l'installation sont passées en revue. La recherche des sources de dommages et de leurs propriétés et la recherche des scénarios et de leurs causes peut être soutenue par des check-lists et des mots-guides ou des questions-guides.

L'objectivité est un problème qui se pose lors de l'estimation des risques (gravité et probabilité) et lors de la définition des mesures. Des critères et des directives clairs doivent permettre d'éviter que ces parties de l'analyse des risques ne soient sujet à l'appréciation subjective des exécutants de l'analyse des risques.

Des procédures écrites doivent assurer que toutes les parties de l'étude de sécurité sont réalisées. Les procédures pour la réalisation des études de sécurité lors de la conception de nouvelles installations ou lors de modifications méritent une attention particulière. Dans ces cas, les parties de l'étude de sécurité doivent être intégrées dans la procédure de conception. C'est uniquement de cette manière que la sécurité peut être intégrée dans la conception en respectant les principes généraux de prévention et la hiérarchie des mesures de prévention. Les études de sécurité sur des nouvelles installations ne peuvent donc pas se limiter à l'analyse de la conception finale.

Le chapitre 4 de cette note expose une méthode pratique possible pour la réalisation systématique de toutes les parties de l'étude de sécurité. La méthode de travail proposée peut aussi bien être appliquée lors de la réalisation de nouveaux projets que pour des installations existantes.

### 3.2.2. La révision des études de sécurité

#### 3.2.2.1 La révision périodique

La directive “Seveso II” demande une révision du rapport de sécurité tous les cinq 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 n'est assurément pas une nouvelle idée. C'est une pratique qui existe déjà depuis plusieurs années dans un certain nombre d'entreprises et qui est également fortement recommandée dans la littérature relative à la sécurité des procédés.

Différents arguments existent en faveur de l'exécution périodique des études de sécurité, même pour les installations qui ne subissent pas ou peu de changement au cours du temps.

##### a. *Tendre à être complet en matière d'identification des risques*

Il est bien réel que dans toute étude de sécurité certaines causes ou conséquences soient perdues de vue. Grâce à une répétition régulière de l'étude, on arrivera toutefois plus près de l'inventoriage complet de tous les risques possibles d'accidents majeurs.

##### b. *Effet cumulatif des (petites) modifications des installations*

Une installation ne reste rarement exactement identique au fil du temps. Différentes petites modifications qui ont chacune été jugée comme “trop petites” que pour justifier une étude de sécurité peuvent par contre avoir ensemble un impact significatif sur les risques d'une installation.

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

L'état de la technique évolue continuellement, également en matière de technique de sécurité. Certaines techniques peuvent par exemple, lors de la conception d'une installation, ne pas avoir été disponibles, insuffisamment robuste ou trop chères, et par conséquent ne pas être avoir été implémentées. Pensons par exemple à l'évolution en matière de contrôle et de sécurité des procédés. Des études de sécurité périodiques peuvent être l'occasion d'évaluer l'utilisation de techniques plus récentes.

##### d. *Evolution de la perception du risque*

Il n'y pas uniquement que la technique qui évolue, mais également l'attente à l'égard du niveau de sécurité dans la société en général, et dans l'industrie en particulier. Certaines situations qui étaient perçues comme une pratique acceptable il y a dix ans, ne le sont peut être plus maintenant, et des mesures de prévention supplémentaires sont exigées.

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

La réalisation d'études de sécurité constitue pour les participants une importante forme de formation et de sensibilisation en matière de sécurité. C'est le moment idéal pour rafraîchir les connaissances des dangers et des risques d'une certaine installation et d'y porter à nouveau attention. Dans chaque étude de sécurité réalisée en groupe se passe une considérable transmission d'information entre les différentes disciplines, entre les différents niveaux hiérarchiques, entre les ingénieurs et les opérateurs, entre les collaborateurs expérimentés et moins expérimentés.

### 3.2.2.2 La révision suite aux accidents et incidents

L'enquête des accidents et incidents doit rencontrer les objectifs suivants:

- découvrir d'une part quelles étaient les causes précises de l'accident et tirer des *mesures concrètes* afin d'éviter l'accident dans le futur;
- rechercher et corriger d'autre part les déficiences du *système de gestion de la sécurité* qui ont permis que l'accident se produise.

Les objectifs du premier point se retrouvent également dans une étude de sécurité et il est évident que l'on réalise pour cela les parties typiques d'une étude de sécurité:

a) *l'identification des dangers;*

Dans un certain nombre de cas, il est peut être évident de connaître quels dangers chimiques étaient impliqués dans l'accident. Il existe toutefois des douzaines d'exemples pour lesquels la cause fondamentale de l'accident ou de l'incident avait à voir avec le fait que le comportement de certaines substances ou réactions n'étaient pas, ou pas suffisamment, connues.

b) *la définition et la détermination des risques;*

L'accident peut mettre à jour de “nouvelles” causes dont on n'avait pas, ou pas suffisamment, tenu compte lors des études de sécurité précédentes.

En ce qui concerne l'estimation de la gravité et de la probabilité, il faut tenir compte du fait que les événements se sont effectivement produits, ce qui rend les risques concernés plus réalistes.

c) *l'évaluation des risques;*

d) *la détermination des mesures de prévention.*

En ce qui concerne le deuxième objectif de l'enquête, c'est-à-dire la recherche et la correction des déficiences du système de gestion de la sécurité, l'on doit entre autre se poser la question: pourquoi n'est-on pas parvenu à réduire les risques concernés suite aux études de sécurité *précédentes*.

Dans le cas où l'accident ou l'incident a mis à jour un danger jusque là “inconnu”, les questions suivantes se posent:

- Dans le passé, a-t-on bien *réalisé* une analyse de dangers?
- Si oui: la systématique suivie était-elle bien suffisamment *systématique* pour rechercher le danger inconnu?
- Si oui: la systématique préconisée avait-elle bien été réalisée *correctement*? Si non: pourquoi?

Dans le cas d'un “nouveau” risque, des questions analogues peuvent être posées:

- Dans le passé, les risques ont-ils été recherchés pour la partie concernée de l'installation?
- Si oui: la systématique suivie était-elle bien capable de rechercher de tels risques?
- Si oui: la systématique préconisée avait-elle bien été réalisée *correctement*? Si non: pourquoi?

L'évaluation des risques et la détermination des mesures de prévention peuvent aussi s'être mal déroulées. En fonction de la réponse à ces questions, des améliorations peuvent s'imposer, non seulement sur le plan du système de gestion de la sécurité, mais il peut également être indiqué de

refaire complètement ou partiellement certaines études de sécurité. Il en est surtout ainsi lorsque de “nouveaux” dangers et/ou risques ont été mis à jour.

## 4. La réalisation pratique des études de sécurité

Dans ce chapitre, une méthode de travail pratique est présentée afin d'illustrer les principes du chapitre 3.

Le chapitre 4.1 présentera le déroulement général d'une étude de sécurité: quelles sont les différentes étapes et comment peuvent elles être coordonnées en pratique et combinées pour former un tout logique.

Le chapitre 4.2 décrira la réalisation pratique des étapes individuelles.

### 4.1. Le déroulement général d'une étude de sécurité

Dans le chapitre 3, quatre parties d'une étude de sécurité ont été définies sur base de la réglementation. Un certain nombre de ces parties ont encore été divisées en étapes partielles, ce qui génère au total sept étapes. Le tableau 4.1 fait le lien entre les parties réglementaires de l'étude de sécurité (définies au chapitre 3 de cette note) et les étapes pratiques d'une étude de sécurité (développées dans ce chapitre de la note).

Tableau 4.1

Lien entre les parties et les étapes d'une étude de sécurité.

parties réglementaires	étapes pratiques
1. l'identification des dangers	1. l'inventoriage des sources de dommages 2. l'analyse des sources de dommages
2. la définition et la détermination des risques	3. la définition des scénarios d'accident 4. l'identification des causes et des conséquences des scénarios 5. l'estimation de la gravité et de la probabilité des scénarios
3. l'évaluation des risques	6. l'évaluation des risques
4. la détermination des mesures de prévention	7. la détermination des mesures de prévention

Dans l'approche pratique présentée dans cette note, nous n'appliquerons pas ces étapes sur l'installation entière mais sur des parties d'installation. La division de l'installation en ce que l'on appelle des "systèmes" constitue une huitième étape supplémentaire (étape 0). Si nous appliquons ces huit étapes, il en résulte une structure d'informations schématisée à la figure 4.1.

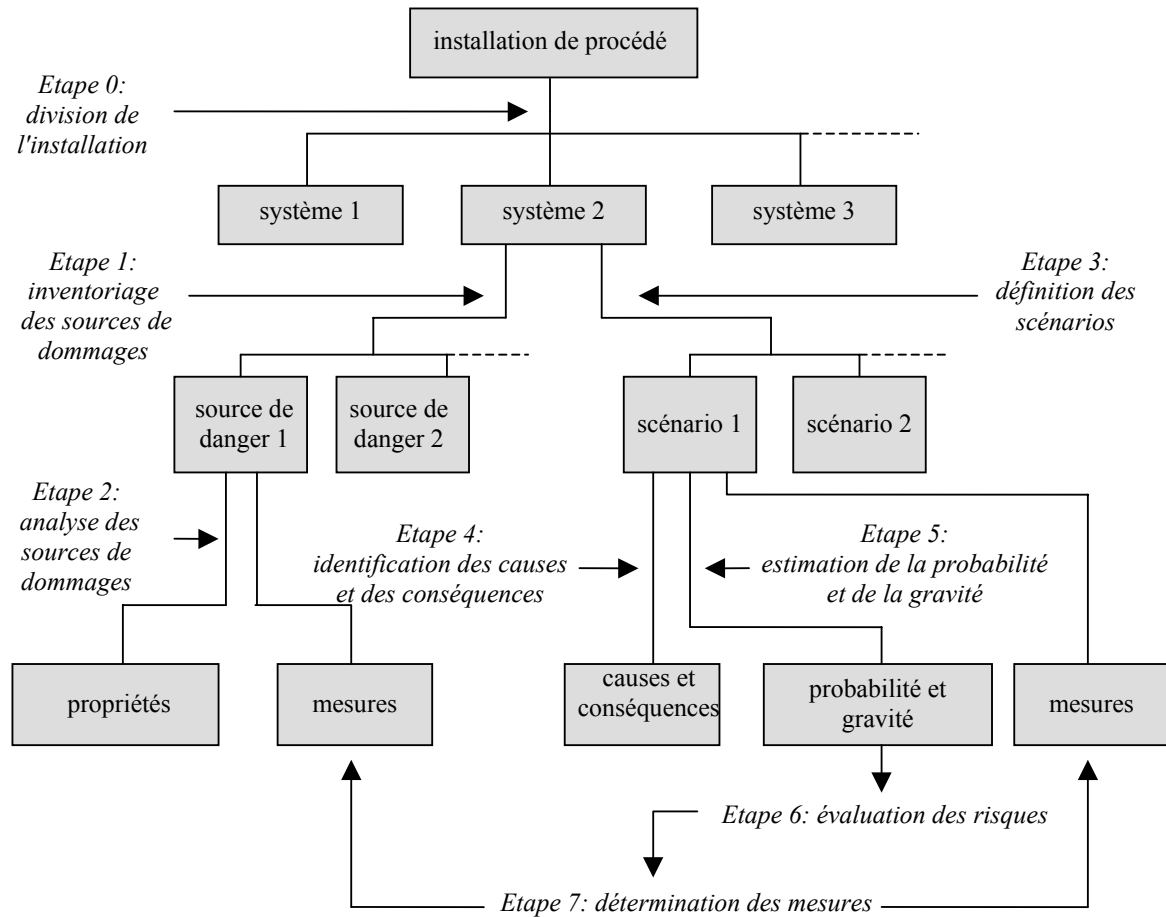


Figure 4.1. La structure d'informations résultant des 8 étapes d'une étude de sécurité

Au sommet de cette structure en arbre se trouve “l'installation de procédé” qui fait l'objet de l'étude de sécurité. A l'étape 0, l'installation est divisée en différents “systèmes”. Pour chacun de ces systèmes, les sources de dommages sont inventoriées (étape 1). D'une analyse des sources de dommages résulte un aperçu des propriétés pertinentes (étape 2). Au niveau des sources de dommages, des mesures de prévention peuvent déjà être déterminées (étape 7). Ce sont des mesures qui rendent l'installation plus sûre d'une manière inhérente.

Par analogie aux sources de dommages, les scénarios d'accidents sont définis pour chaque système (étape 3). Pour chaque scénario, les causes et les conséquences doivent être identifiées (étape 4). Sur base de cette information, la probabilité et la gravité du scénario peuvent être estimées (étape 5). Pour finir, une évaluation formelle des risques doit déterminer si les risques sont suffisamment maîtrisés (étape 6). Sur base de cette évaluation des risques, des mesures (complémentaires) sont déterminées (étape 7). Remarquons que les mesures de prévention peuvent en principe être déterminées à tout moment et que l'étape 7 se déroule en fait parallèlement aux étapes 1 à 6.

Cette structure d'informations sera utilisée pour guider l'étude de sécurité. Pour cela, la structure d'informations est traduite en “documentation de sécurité” concrète. La réalisation d'une étude de sécurité est par conséquent assimilée à la rédaction de la documentation de sécurité. Cette documentation de sécurité est représentée schématiquement à la figure 4.2.



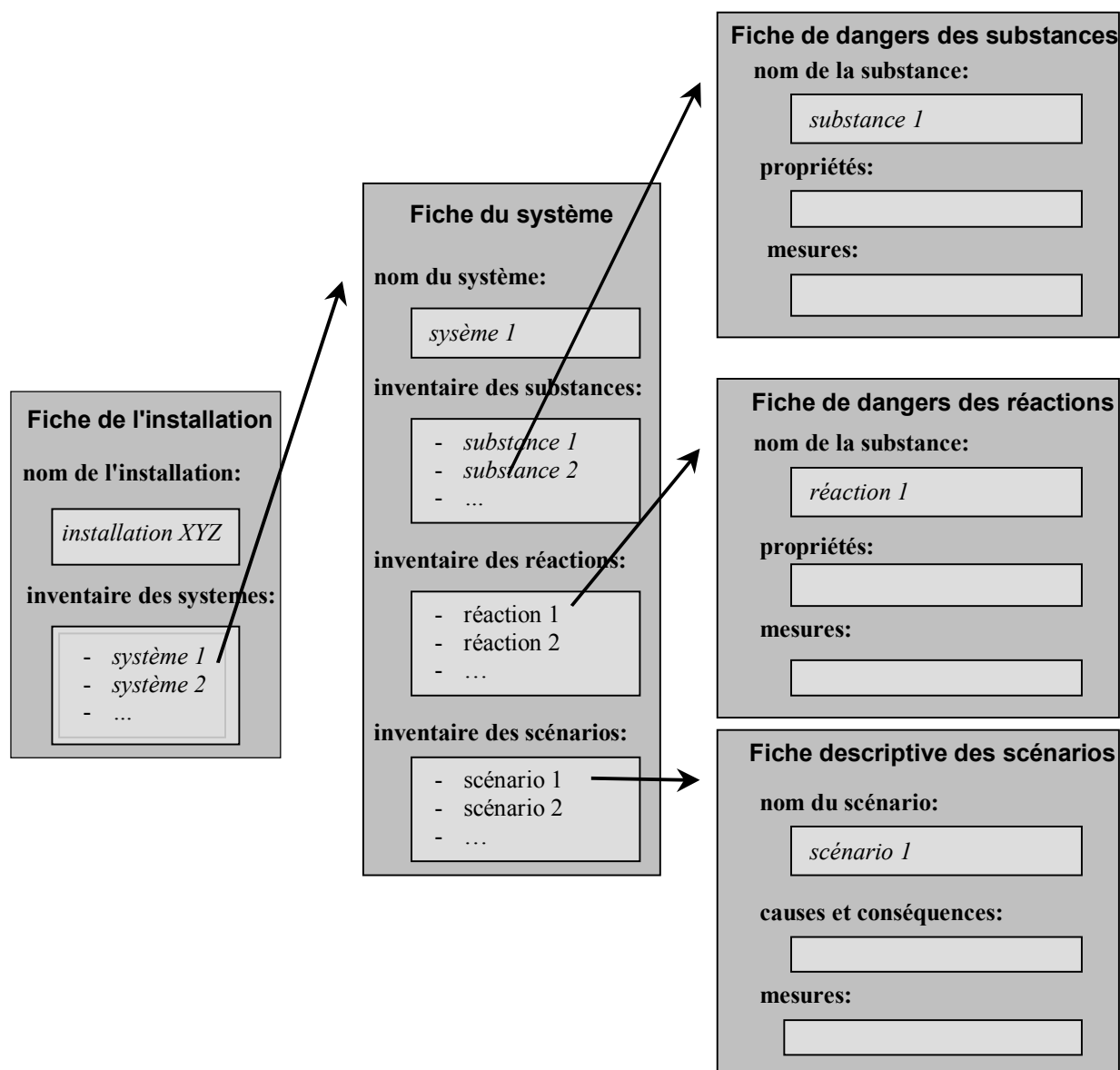


Figure 4.2. La structure générale de la documentation de sécurité

Le plus haut niveau dans la structure de la documentation est constitué par la “Fiche d'installation” qui donne un aperçu des systèmes suivant lesquels l'installation de procédé est divisée. Pour chaque système, une “Fiche du système” est construite, elle donne un aperçu des sources de dommages (substances et réactions) et des scénarios d'accidents majeurs.

L'analyse des sources de dommages étoffe les “Fiches de dangers des substances” et les “Fiches de dangers des réactions”. Analogiquement aux sources de dommages, pour chaque scénario, une “Fiche descriptive des scénarios” est construite dans laquelle les causes et les conséquences sont documentées ainsi que la probabilité et la gravité estimées et les mesures de prévention.

A cause de la structure en couches, il est recommandé de gérer la documentation de sécurité à l'aide d'un programme informatique (par exemple Microsoft Access). Ainsi, les fiches seront présentées au chapitre 4.2 comme des “feuilles de données”, comme celles utilisées dans Microsoft Excell et Access. En principe, on peut naturellement également constituer la documentation de sécurité avec du “papier et un crayon”.

Lors de la rédaction de la documentation de sécurité (et donc lors de la réalisation de l'étude de sécurité), la division de l'installation (étape 0) occupe un rôle clé. Chacune des étapes de l'étude de sécurité sera en effet réalisée et documentée par système. Plus on divise l'installation, plus étendue et plus approfondie sera l'étude de sécurité.

Pour les études de sécurité des installations existantes, la division en systèmes souhaitée peut être choisie immédiatement. De préférence, chaque équipement important (réacteur, tour de distillation, échangeur, ...) sera défini comme un système indépendant. Les tuyauteries peuvent être ajoutées au système avec l'équipement ou elles peuvent être définies comme un système indépendant. Ceci concorde avec la division qui est normalement faite lors de la réalisation d'une étude Hazop.

Lors de la conception de nouvelles installations, la division devra être affinée au fur et à mesure que la conception progresse. Au départ, seuls certains grands blocs pourront être définis, par exemple: le stockage des matières premières, la section de réaction, une section de séparation, ... . Plus tard, les équipements et les tuyauteries pourront être spécifiés pour chaque section. Un système correspondant à une section sera donc remplacé par plusieurs systèmes constitués d'un ou de plusieurs équipements et tuyauteries.

Cette division qui va de pair avec l'évolution de la conception guide également l'étude de sécurité qui doit être réalisée durant la conception. Le but est en effet, à différents moments de la conception, de construire la structure en arbre de la figure 4.1., aussi bien horizontalement que verticalement, en fonction des informations disponibles. Depuis le début de la conception, la plupart des substances et des réactions sont connues. Aussi tôt qu'une substance ou une réaction est connue, les propriétés peuvent être analysées et des mesures éventuelles peuvent être considérées. De telles mesures relatives aux substances et aux réactions rendront l'installation plus sûre d'une manière inhérente. Au fur et à mesure que plus de détails sont connus sur les systèmes, les causes et les conséquences peuvent être mieux estimées et des mesures peuvent être prises pour éliminer les libérations indésirées ou en limiter les conséquences.

Cette vision sur les études de sécurité lors des projets varie fondamentalement de l'approche traditionnelle dans laquelle, dans les différentes phases de la conception du procédé, différentes analyses indépendantes sont réalisées. Dans l'approche de cette note, il est question d'une étude de sécurité réalisée *progressivement* au fur et à mesure que le projet avance. Dans ce modèle, des analyses des risques individuelles, comme par exemple des analyses par l'arbre des causes ou des Hazop, ne sont pas des exercices isolés mais des aides lors de la rédaction de la documentation de sécurité. De plus, il apparaîtra que la documentation de sécurité fait elle-même fonction de sorte de "check-list" pour l'information qui doit être recherchée à chaque étape.

La documentation de sécurité joue donc un double rôle lors de la réalisation des études de sécurité: sa structure a une fonction *guide et coordinatrice* et les fiches concrètes font fonction de *méthodique*.

En plus de sa contribution au caractère systématique de l'étude de sécurité, la documentation de sécurité remplit également un rôle central dans le système de gestion de la sécurité. La documentation de sécurité donne en effet un aperçu de toutes les mesures relatives à la prévention des accidents majeurs. Ces mesures doivent être maintenues en état par le système de gestion de la sécurité à l'aide de:

- l'entretien et l'inspection des équipements critiques en matière de sécurité;

- des instructions claires pour les interventions du personnel critiques en matière de sécurité;
- la formation et l'entraînement relatifs à ces instructions;
- la prévention de modifications incontrôlées ou de la mise hors service des mesures de prévention.

De plus, un aperçu structuré des dangers, des risques et des mesures est un point de départ idéal pour revoir les études de sécurité.

Pour finir, la documentation de sécurité permet à une entreprise de pouvoir prouver à tout moment que les risques d'accidents majeurs sont identifiés et que les mesures nécessaires sont prises afin de maîtriser ces risques. Une entreprise qui dispose d'une bonne documentation de sécurité pourra décrire, sans beaucoup d'efforts supplémentaires, les risques d'accidents majeurs dans le rapport de sécurité (conformément à l'accord de coopération).

La documentation de sécurité présentée dans cette note n'est pas à prendre ou à laisser. Une entreprise peut utiliser sa propre créativité et ses connaissances pour adapter la structure et les fiches en fonction de ses propres besoins et points de vue.

## **4.2. Les étapes individuelles**

Le déroulement général d'une étude de sécurité a été expliqué ci-dessus. La documentation de sécurité y joue un rôle conducteur et elle jouera également le rôle de fil rouge dans le chapitre 4.2. Pour chacune des fiches de la figure 4.2, une proposition de lay-out sera donnée.

### **4.2.1. Etape 0: la division de l'installation**

L'étape 0 consiste en la division de l'installation en différents systèmes. L'importance de cette étape a déjà été explicitée au chapitre 4.1. Un aperçu de tous les systèmes définis est conservé dans la Fiche de l'installation (figure 4.3). Dans cette fiche, de l'espace a également été prévu pour décrire brièvement l'installation et pour conserver un aperçu des études de sécurité déjà réalisées pour l'installation.

Des détails complémentaires relatifs à un système peuvent être repris dans la feuille de données "Description du système" du Formulaire du système, représenté à la figure 4.4. Cette feuille de données prévoit entre autres, de lister les différents composants (équipements et tuyauteries) qui forment ensemble le système. De cette manière, chaque système est clairement délimité et l'on peut contrôler si chaque composant de l'installation a bien été repris quelque part dans un système.

**Fiche de l'installation**

**Nom**

**Description succincte**

**Etudes de sécurité réalisées**

Date / période	Description	Raison de l'étude
<i>date(s) ou période durant laquelle l'étude est réalisée</i>	<i>technique utilisée (par ex. Hazop, ...)</i>	<i>par ex. révision périodique, modification de l'installation, ...</i>

**Systemes de l'installation**

<i>noms des systèmes définis</i>

Figure 4.3. La fiche de l'installation

**Fiche du système**

**Nom**

**Description succincte**

**Composants du système**

Nom	Code	Pression de conception	T° de conception
<i>nom des composants</i>	<i>par ex. code TAG ou une autre identification claire</i>	<i>la pression de conception des composants</i>	<i>la température de conception des composants</i>

Description du système	Inventaire des sources de dommages	Inventaire des scénarios
------------------------	------------------------------------	--------------------------

Figure 4.4. La feuille de données “Description du système” de la Fiche du système

#### 4.2.2. Etape 1: l'inventariage des sources de dommages

Comme exposé au chapitre 3, nous distinguons deux sortes de sources de dommages : les substances et les réactions. La feuille de données “Inventaire des sources de dommages” de la Fiche du système (figure 4.5) permet d'inventorier les substances et les réactions d'un système.

Fiche du système		
<b>Nom</b>	<i>nom du système concerné</i>	
<b>Substances présentes en conditions normales</b>		
<b>Nom</b>	<b>Quantité</b>	
<i>nom des substances</i>	<i>quantité totale de la substance présente dans le système</i>	
<b>Substances présentes en conditions anormales</b>		
<b>Nom</b>	<b>Quantité</b>	
<i>nom des substances</i>	<i>quantité totale de la substance pouvant être présente dans le système</i>	
<b>Réactions désirées</b>		
<b>Nom</b>	<b><math>\Delta P_{\max}</math></b>	<b><math>\Delta T_{\max}</math></b>
<i>nom des réactions désirées qui ont lieu dans le système</i>	<i>la montée en pression maximale pouvant être occasionnée par la réaction</i>	<i>la montée en température maximale pouvant être occasionnée par la réaction</i>
<b>Réactions indésirées</b>		
<b>Nom</b>	<b><math>\Delta P_{\max}</math></b>	<b><math>\Delta T_{\max}</math></b>
<i>nom des réactions indésirées qui ont lieu dans le système</i>	<i>la montée en pression maximale pouvant être occasionnée par la réaction</i>	<i>la montée en température maximale pouvant être occasionnée par la réaction</i>
<b>Description du système</b>	<b>Inventaire des sources de dommages</b>	<b>Inventaire des scénarios</b>

Figure 4.5. Feuille de données “Inventaire des sources de dommages” de la Fiche du système

#### 4.2.2.1 Substances

Lors de l'inventoriage des substances, on ne peut pas se limiter aux “substances principales”. Les substances présentes en petites quantités ou qui ne participent pas activement au procédé peuvent également apporter une contribution importante au potentiel de danger parce qu'elles peuvent mener à des réactions indésirées.

Il est de plus également important de déterminer quelles substances peuvent être présentes dans un système lors de conditions anormales. Afin d'y porter attention, une distinction est faite dans la feuille de données “Inventaire des sources de dommages” de la Fiche du système entre les “substances présentes en conditions normales” et les “substances présentes en conditions anormales”. Une check-list ou une liste de questions peut aider lors de l'inventoriage des substances présentes en conditions anormales. Le tableau 4.2 donne une ébauche d'une telle check-list.

---

Tableau 4.2  
Check-list reprenant les conditions anormales pour l'inventoriage des substances

---

Quelles substances peuvent être introduites lors des circonstances anormales suivantes?

- flux retour des équipements situés en aval
  - percée de substances des équipements situés en amont
  - fuites aux échangeurs
  - mauvais ordre d'introduction des réactifs dans des réacteurs batch ou semi-batch
  - contaminations dans les flux de produits
  - produits de réaction des réactions indésirées
  - substances résiduelles suite à des tests de pression
  - substances résiduelles suite à un entretien
  - (autre) mauvais produit d'entretien (lubrifiant, agents de dégraissage, ...)
  - ....
- 

#### 4.2.2.2 Réactions

Tout comme pour les substances, pour un inventoriage systématique des réactions, on peut faire une distinction entre les réactions désirées et indésirées.

Il va de soi que les réactions désirées d'un procédé sont connues et l'inventoriage complet ne doit pas poser de problème. On ne doit toutefois pas se limiter aux réactions de synthèse à proprement dit. Dans les équipements qui ne sont pas considérés comme des “réacteurs”, des réactions désirées peuvent également se produire. Pensons par exemple aux fours de combustion, aux installations de purification des matières premières, aux installations de traitements des effluents, ...

L'inventoriage des réactions indésirées peut être systématisé en utilisant une matrice d'interaction entre toutes les substances inventoriées pour le système concerné. Il est de plus important de vérifier si chaque substance ne peut donner lieu à une “auto-réaction”. Celle-ci est une réaction d'une substance avec elle-même. Il existe trois formes principales d'auto-réaction: la polymérisation, la décomposition et l'isomérisation. Plus d'informations en la matière sont

données dans la publication Métatechnique CRC/MT/002 (référence [5]). La référence [6] reprend de l'information relative à la réactivité d'un grand nombre de substances chimiques.

Par définition, des substances réactives sont présentes dans les réacteurs et de plus, les conditions de procédé (concentration, pression, température) peuvent fortement varier dans ces équipements. C'est pourquoi la recherche des réactions indésirées dans les réacteurs mérite une attention particulière.

### **4.2.3. Etape 2: l'analyse des sources de dommages**

Les substances et les réactions sont définies comme sources de dommages. Une analyse des propriétés dangereuses de ces substances et réactions déterminera dans quelle mesure celles-ci constituent effectivement. Aussi bien pour les substances que pour les réactions, nous faisons une distinction entre les propriétés inhérentes et les propriétés liées à l'installation.

#### **4.2.3.1 Les substances**

##### **4.2.3.1.1 Propriétés inhérentes**

Dans cette étape sont recherchées les propriétés inhérentes qui permettent à la substance d'occasionner des dommages à l'homme, suite à une libération accidentelle de cette substance. On peut tendre à être complet en utilisant des fiches reprenant toutes les propriétés pertinentes d'une certaine substance. La figure 4.6 représente la feuille de données "Propriétés inhérentes" de la "Fiche de dangers des substances".

Les propriétés dangereuses inhérentes d'une substance peuvent être déterminées d'une manière objective et expérimentale. Pour la plupart des substances et des réactions, les propriétés sont déjà déterminées et rendues publiques dans des travaux scientifiques et des publications. Pour des substances achetées, on peut normalement directement s'adresser au producteur pour des informations détaillées. L'information disponible dans les fiches de sécurité traditionnelles est toutefois la plupart du temps trop sommaire.

Une étude de cas d'accidents fournit également des informations très utiles en matière de potentiel de danger des substances.

Si toutefois, on ne trouve pas suffisamment de données dans le domaine public sur les dangers de certaines substances et réactions, l'exploitant doit lui-même prendre l'initiative de faire réaliser les tests nécessaires. L'analyse de dangers constitue après tout la base de toute étude de sécurité. Il n'est pas acceptable qu'un exploitant ne soit pas au courant de toutes les propriétés pertinentes de toutes les substances et réactions de son installation.

Fiche de dangers des substances			
Identification			
<b>nom</b>	le nom de la substance		
<b>n° CAS</b>	le numéro CAS	<b>Etiquetage</b>	F, F+, T, T+, O, C, ...
<b>Phrases R et S</b>	les phrases R et S de la substance		
Toxicité respiratoire aiguë			
<b>Valeur caractéristique</b>	par ex. valeur IDHL ou LC50 (effet d'une courte exposition à de fortes doses)		
<b>Description</b>	décrit les effets d'une exposition unique à une forte dose		
Feu et explosion			
<b>Point éclair</b>	en °C	<b>Chaleur de combustion</b>	en kJ/kg
<b>Temp. d'infl. spontanée</b>	en °C	<b>LEL</b>	en vol% dans l'air
<b>Energie d'inflammation</b>	en mJ	<b>UEL</b>	en vol% dans l'air
<b>Charge électrostatique</b>	décrit les capacités de la substance à se charger électrostatiquement		
<b>Produits de combustion</b>	décrit les produits de combustion (si relevant)		<input type="text"/>
<b>Commentaires</b>	description qualitative du comportement au feu et à l'explosion		
Stabilité			
<b>Temp. de décomposition</b>	"self accelerating decomposition temperature" en °C		
<b><math>\Delta H_{\text{decomp}}</math></b>	l'enthalpie de décomposition en J/g		
<b>Commentaires</b>	en fonction de $\Delta H_{\text{decomp}}$ il existe ou non un danger de runaway, danger de déflagration ou de détonation (cfr. référence 5) l'influence des autres produits sur la température de décomposition (ions, particules métalliques) peuvent également être mentionnée ici		
Polymérisation			
<b>Enthalpie de réaction</b>	l'enthalpie de réaction en J/g		
<b>Commentaires</b>	conditions sous lesquelles se passe la polymérisation (température, pression, catalyseurs, ...)		
Toxicité percutanée			
<b>Valeur caractéristique</b>	par ex. la surface de contact nécessaire aux suites mortelles		
<b>Commentaires</b>	commentaires des effets sur la santé		
Réactivité			
<b>Avec l'eau</b>	avec les gouttes d'eau, l'humidité de l'air, la vapeur d'eau, ...		
<b>Avec les hydrocarbures</b>	propriétés oxydantes de la substance		
<b>Avec les acides et les bases</b>	comportement lors du contact avec des bases et des acides		
<b>Avec les matériaux de construction</b>	corrosivité à l'égard de métaux, dégradation des matières plastiques, matériaux de construction appropriés		
<b>Propriétés inhérentes</b>	<b>Propriétés liées à l'installation</b>	<b>Mesures</b>	

Figure 4.6. La feuille de données "Propriétés inhérentes" de la Fiche de dangers des substances



## 4.2.3.1.2 Propriétés liées à l'installation

En plus des propriétés inhérentes, un certain nombre de propriétés liées à l'installation permettent également à une substance de provoquer des dommages. Ces propriétés liées à l'installation sont documentées dans la feuille de données “propriétés liées à l'installation” de la Fiche de dangers des substances (figure 4.7).

L'état d'agrégation dans laquelle la substance est présente constitue une première propriété importante. Une fuite d'un gaz liquéfié sous pression est en effet plus dangereuse qu'une fuite de gaz à cause du débit de fuite plus important, et elle est également plus dangereuse qu'une fuite liquide à cause de l'évaporation plus importante. De plus, les gaz liquéfiés sous pression peuvent mener à un BLEVE<sup>1</sup>. L'état d'agrégation peut être noté dans la feuille de données “Propriétés liées à l'installation”: gaz sous pression, liquide sous pression, gaz liquéfié sous pression, gaz liquéfié réfrigéré,... Une même substance peut naturellement être présente dans un système sous plusieurs états d'agrégation.

Une deuxième propriété importante consiste en la quantité de substance présente. Dans la feuille de données “Propriétés liées à l'installation”, la quantité présente peut être indiquée pour chaque état d'agrégation.

Il est également prévu dans la feuille de données de mentionner si la température du système n'est pas supérieure au point d'éclair et à la température d'auto-inflammation, respectivement “ $T_{\text{écl}} - T_{\text{pr}}$ ” et “ $T_{\text{ai}} - T_{\text{pr}}$ ”.

Fiche de dangers des substances		
<b>Nom</b>	le nom de la substance	
<b>Fonction ou raison de la présence</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pour les substances présentes en conditions normales: la fonction de la substance dans le système (réactifs, catalyseur, solvant, ...), impureté, gaz inerte, ...</li> <li>- pour les substances présentes en conditions anormales: les circonstances ou les raisons pour lesquelles la substance peut être présente</li> </ul>	
	<b>Etat d'agrégation</b>	<b>Quantité</b>
	par ex. gaz sous pression, liquide sous pression, gaz liquéfié sous pression, gaz liquéfié réfrigéré, ...	la quantité de chaque état d'agrégation
<b><math>T_{\text{écl}} - T_{\text{pr}}</math></b>	la différence entre le point d'éclair et la température du procédé	<b><math>T_{\text{ai}} - T_{\text{pr}}</math></b> la différence entre la température d'auto-inflammation et la température du procédé
<b>Propriétés inhérentes</b>	<b>Propriétés liées à l'installation</b>	<b>Mesures</b>

Figure 4.7 Feuille de données “Propriétés liées à l'installation” de la Fiche de dangers des substances

<sup>1 1</sup> BLEVE est un acronyme pour Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion

### 4.2.3.2 Réactions

#### 4.2.3.2.1 Propriétés inhérentes

Les réactions sont dangereuses dans la mesure où elles peuvent mener à une montée en pression ou en température dans la partie d'installation dans laquelle elles se produisent. La chaleur de réaction et la production nette éventuelle de gaz sont donc des propriétés inhérentes pertinentes d'une réaction. De plus, la vitesse selon laquelle les gaz ou l'énergie est libérée a également de l'importance. La figure 4.8 reprend la feuille de données “Propriétés inhérentes” de la Fiche de dangers des réactions.

<b>Fiche de danger des réactions</b>	
<b>Identification</b>	
<b>Nom de la réaction</b>	<i>le nom de la réaction</i>
<b>Schéma réactionnel</b>	<i>réactifs → produits de réactions</i>
<b>Propriétés</b>	
<b>Conditions réactionnelles</b>	<i>température, pression, concentration, quantités, débits d'alimentation, ...</i>
<b><math>\Delta H_R</math></b>	<i>chaleur de réaction en J/g</i>
<b><math>\Delta M_G</math></b>	<i>la différence entre le nombre de moles de réactifs en phase gazeuse et le nombre de moles de produits de réaction en phase gazeuse</i>
<b><math>C_p</math> (J/kg/°C)</b>	<i>la capacité calorifique de la masse réactionnelle</i>
<b>Cinétique de réaction</b>	<i>une formule de la vitesse de réaction, un certain nombre de valeurs représentatives ou une description qualitative de la vitesse</i>
<b><math>dQ_R/dt</math></b>	<i>une formule de la vitesse du développement de chaleur, un certain nombre de valeurs représentatives ou une description qualitative</i>
<b><math>dM_g/dt</math></b>	<i>une formule de la vitesse selon laquelle les gaz sont produits ou consommés, un certain nombre de valeurs représentatives ou une description qualitative</i>
<b>Commentaires</b>	<i>espace disponible pour mentionner d'autres propriétés pertinentes</i>
<b>Propriétés inhérentes</b>	<b>Propriétés liées à l'installation</b>
	<b>Mesures</b>

Figure 4.8. La feuille de données “Propriétés inhérentes” de la Fiche de dangers des réactions

#### 4.2.3.2.2 Propriétés liées à l'installation

Le potentiel de danger d'une réaction peut être exprimé comme l'augmentation de pression maximale et l'augmentation de température maximale pouvant être provoquée par la réaction. Pour déterminer ces mesures, des suppositions doivent toutefois être faites en matière de conditions réactionnelles: quels réactifs sont présents, en quelle quantité sont-ils présents ou à quels débits sont-ils introduits au mélange réactionnel, ... . Vu que nous sommes intéressés par le *potentiel* de dommage de la réaction, les conditions de réactions sont les conditions les plus défavorables (mais encore réalistes) qui peuvent se passer. Pour une réaction batch, c'est par exemple, la proportion stœchiométrique des réactifs et l'absence de refroidissement. Pour d'autres situations, il est moins évident de déterminer les “worst cases”.

Pour des réactions semi-batch, on peut par exemple songer aux situations suivantes:

- débit de dosage maximal des réactifs introduits en continu et absence de refroidissement;
- une accumulation des réactifs dans le réacteur suite à un non-démarrage de la réaction.

Pour un réacteur continu, le scénario “worst case” peut être: l'isolement du réacteur entre deux vannes fermées et la défaillance du refroidissement. Pour ces situations plus complexes, il est normalement possible et également nécessaire d'analyser *plusieurs* scénarios “worst case”.

Notons que les exemples ci-dessus concernent les réacteurs. Pour les réactions indésirées, des suppositions doivent naturellement aussi être faites. Considérons par exemple le cas où, lors d'une fuite interne d'une spirale de refroidissement, une réaction se produit entre le fluide caloporteur et la substance devant être réfrigérée. Dans ce cas, il faut faire des suppositions relatives à la nature et l'étendue de la fuite (un petit trou ou une rupture totale de la tuyauterie de la spirale de refroidissement, ampleur du débit de fuite).

Lors de la détermination des scénarios “worst case”, il ne faut pas ou peu tenir compte de la probabilité selon laquelle ils peuvent survenir. Il ne faut pas tenir compte des systèmes de contrôle et de sécurité qui ont été ou seront installés pour éviter ces situations. Les scénarios “worst case” servent en effet à déterminer l'importance des mesures de prévention évitant les dommages. S'il apparaît par exemple qu'un scénario “worst case” ne peut être maîtrisé par une décharge de pression, les mesures pour éviter les circonstances du “worst case” sont naturellement plus importantes que dans le cas où une décharge de pression est bien possible. Des conditions de réaction “worst case” très improbables sont plus faciles à imaginer et à évaluer que les cas plus réalistes. S'il apparaît que pour ces conditions “worst case” “faciles”, le potentiel de danger est petit ou maîtrisable par une décharge de pression, cela vaut à fortiori également pour les cas “difficiles” plus réalistes.

Fiche de dangers des réactions		
Nom <input type="text" value="le nom de la réaction concernée"/>		
<b>Conditions de réaction “worst case”</b>	<b><math>\Delta P_{\max}</math></b>	<b><math>\Delta T_{\max}</math></b>
<i>une description des conditions les plus défavorables dans lesquelles la réaction peut se faire, lors desquelles donc une quantité maximale d'énergie ou de gaz peut être produite</i>	<i>l'augmentation maximale de pression pouvant être atteinte lors des conditions citées ci-contre</i>	<i>l'augmentation maximale de température pouvant être atteinte lors des conditions citées ci-contre</i>
<b>Propriétés inhérentes</b>	<b>Propriétés liées à l'installation</b>	<b>Mesures</b>

Figure 4.9. Feuille de données “Propriétés liées à l'installation” de la Fiche de dangers des réactions

#### 4.2.4. Etape 3: la définition des scénarios d'accidents

Dans le contexte de cette note, les scénarios d'accidents sont des libérations indésirées de substances dangereuses ou d'énergie. Cela n'a toutefois que peu de sens de définir un seul scénario général de libération par système. Le type de libération est en effet fonction du mécanisme occasionnant la libération. Lors d'une fuite limitée consécutive à de la corrosion, la libération est graduelle, lors d'une rupture fragile, la libération se fera soudainement et par surprise. Les conséquences d'un scénario unique général de libération ne peuvent donc ne pas être déterminés de manière univoque. Cela n'a pas non plus de sens de déterminer la *probabilité* d'un seul scénario de libération général. Cette probabilité est après tout utilisée lors de l'évaluation des risques pour prendre des décisions relatives aux mesures à prendre. Ces mesures sont toutefois également dépendantes des causes de la libération. Il est donc plus logique de déterminer des probabilités (et donc définir des scénarios) pour les causes individuelles. Par exemple, pour évaluer une sécurité instrumentale qui doit faire éviter une réaction de runaway, cela n'a pas de sens de connaître la probabilité générale d'une libération du réacteur (qui sera déterminée pas d'autres causes encore que le runaway), mais on est intéressé par la probabilité que les conditions de runaway se produisent.

Dans l'approche suivie dans cette note, un scénario est défini comme un “moteur d'instigation” qui peut occasionner une libération. Des “moteurs d'instigation” sont par exemple: une explosion interne, une réaction de runaway, une expansion thermique d'un liquide emprisonné, un pompage alors que la vanne est fermée, l'impact d'un débris d'une explosion voisine, la corrosion, l'usure, le fluage d'un mur métallique suite à un feu externe, ... Les hommes peuvent également être les moteurs d'instigation d'une libération, pensons par exemple au découplage d'un flexible qui n'a pas été vidangé. Ces moteurs d'instigation peuvent somme toute être considérés comme une première classification des causes de libération et nous en parlerons plus loin comme des “causes fondamentales”. Les techniques pouvant être utilisées pour identifier les causes fondamentales d'une libération seront abordées à l'étape 4.

Dans la feuille de données “Inventaire des scénarios” de la Fiche du système, on peut conserver un aperçu de tous les scénarios (nommés suite aux causes fondamentales) (cfr. figure 4.10). La détermination des champs “Gravité” et “Probabilité” est expliquée au chapitre 4.2.6.

Fiche du système		
Nom	nom du système concerné	
	<b>Nom du scénario d'accident</b>	<b>Gravité</b>
		<b>Probabilité</b>
	par “cause de base” est défini un scénario qui est mentionné à la cause fondamentale concernée	une estimation des effets
		une estimation de la probabilité
<b>Description du système</b>	<b>Inventaire des sources de dommages</b>	<b>Inventaire des scénarios</b>

Figure 4.10. La feuille de données “Inventaire des scénarios” de la Fiche du système

#### 4.2.5. Etape 4: l'identification des causes et des conséquences

Lors de l'identification des scénarios d'accidents, nous avons en fait déjà commencer à rechercher les causes des libérations indésirées hors d'un système.

Pour un certain nombre de causes fondamentales, les causes sous-jacentes de leur survenance sont triviales. L'usure d'un bourrage de pompe est par exemple inhérente à la présence de pièces mobiles et ne demande pas plus d'argumentation. Dans d'autres cas, comme par exemple lors de “runaway”, il est par contre bien nécessaire d'identifier les causes sous-jacentes afin qu'ensuite les mesures évitant les dommages puissent être déterminées. Dans la “Fiche de description des scénarios”, ces causes sous-jacentes sont reprises dans une structure en arbre horizontale à l'aide de tabulations (cfr. figure 4.11). Les causes sont numérotées pour permettre d'y faire référence lors de la description des mesures (C1, C1.1, ...).

En plus des causes, les conséquences d'une éventuelle libération doivent également être déterminées en vue de prendre des mesures limitant les dommages. Afin de permettre également d'y faire référence lors de la description des mesures, les conséquences sont aussi numérotées (Cq1, Cq2...).

<b>Fiche de description des scénarios</b>																										
<b>Systeme</b>	<i>nom du système pour lequel le scénario de défaillance est considéré</i>																									
<b>Scénario</b>	<i>description succincte (par ex. fuite par corrosion, surpression par runaway, ...)</i>																									
<b>Causes</b>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"><i>C1. Cause 1</i></td> <td style="width: 33%;"></td> <td style="width: 33%;"></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;"><i>C1.1. Cause 1.1</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 40px;"><i>C1.1.1. Cause 1.1.1</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 40px;"><i>C1.1.1. Cause 1.1.1</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;"><i>C1.2. Cause 1.2</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>C2. Cause 2</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>C3. Cause 3</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>....</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		<i>C1. Cause 1</i>			<i>C1.1. Cause 1.1</i>			<i>C1.1.1. Cause 1.1.1</i>			<i>C1.1.1. Cause 1.1.1</i>			<i>C1.2. Cause 1.2</i>			<i>C2. Cause 2</i>			<i>C3. Cause 3</i>			....		
<i>C1. Cause 1</i>																										
<i>C1.1. Cause 1.1</i>																										
<i>C1.1.1. Cause 1.1.1</i>																										
<i>C1.1.1. Cause 1.1.1</i>																										
<i>C1.2. Cause 1.2</i>																										
<i>C2. Cause 2</i>																										
<i>C3. Cause 3</i>																										
....																										
<b>Conséquences</b>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 100%;"><i>Cq1. Conséquence 1</i></td> </tr> <tr> <td><i>Cq2. Conséquence 2</i></td> </tr> <tr> <td><i>Cq3. Conséquence 3</i></td> </tr> </table>		<i>Cq1. Conséquence 1</i>	<i>Cq2. Conséquence 2</i>	<i>Cq3. Conséquence 3</i>																					
<i>Cq1. Conséquence 1</i>																										
<i>Cq2. Conséquence 2</i>																										
<i>Cq3. Conséquence 3</i>																										
<b>Probabilité</b>	<i>Estimation de la probabilité du scénario</i>	<b>Gravité</b> <i>Estimation de la gravité du scénario</i>																								
<b>Causes et conséquences</b>		<b>Mesures</b>																								

Figure 4.11 La feuille de données “Causes et conséquences” de la Fiche de description des scénarios

Un certain nombre de techniques permettant de rechercher les causes des libérations indésirées sont discutées ci-dessous.

#### **4.2.5.1 Check-lists**

Une check-list est une bonne méthode pour inventorier rapidement et avec relativement peu de difficulté la plupart des causes fondamentales d'un système déterminé.

La définition de “cause fondamentale” est illustrée par une courte liste d'exemples. Chaque entreprise peut compléter cette petite liste jusqu'à l'obtention d'une check-list plus complète. De l'inspiration peut être trouvée à la référence [7]. Ce livre reprend, pour des équipements de procédés typiques (réservoirs sous pression, réacteurs, échangeurs, ...), les causes de défaillance typiques (“failure scenario's”) ainsi que les solutions typiques (“potential design solutions”).

#### **4.2.5.2 Analyse par l'arbre des causes**

Un arbre des causes est une technique évidente pour identifier les causes sous-jacentes des causes fondamentales. L'événement au sommet de l'arbre est la cause fondamentale.

Notons que, dans notre approche, ces arbres des causes n'ont pas comme objectif de calculer la probabilité d'un scénario d'une manière quantitative. Ils constituent une aide pour rechercher d'une manière structurée les causes sous-jacentes d'une libération avec comme objectif de pouvoir formuler les mesures évitant les dommages. La défaillance de ces mesures ne doit donc pas systématiquement entrer en ligne de compte et l'exactitude mathématique (par ex. en ce qui concerne les défaillances collectives) n'est pas pertinente. Les arbres des causes, dont il est question ici comme développement des causes fondamentales, ne seront donc pas aussi complexes et ne prendront pas autant de temps que leurs pendants constitués par les analyses des risques quantitatives.

Les méthodes de la check-list et de l'analyse par arbre des causes sont de bonnes techniques pour identifier la plupart des causes, *au fur et à mesure du projet*. A la *fin* du projet, lorsque les diagrammes de tuyauteries et d'instrumentation prennent leur forme définitive, l'identification des causes peut être complétée à l'aide d'une technique comme l'Hazop.

#### **4.2.5.3 Hazop**

L'Hazop est sans aucun doute la technique d'analyse la plus utilisée dans l'industrie de procédé. Un certain nombre de facteurs expliquent le succès de l'Hazop. Premièrement, la méthode est appliquée sur un sujet d'étude bien défini, c'est-à-dire le diagramme de tuyauteries et d'instrumentation. De plus, l'Hazop est caractérisé par une approche très systématique. Le procédé créatif qu'est quand même l'identification des risques est fortement soutenu par les questions concrètes que la méthode Hazop génère et ce, pour chaque partie de l'installation sur laquelle la méthode est appliquée.

L'Hazop est cependant une *technique de vérification*, ce qui limite les possibilités d'application de l'Hazop. Trevor Kletz écrit dans son livre “Hazop et Hazan” [8]:

*“A Hazop is a final check on a basically sound design to make sure that no unforeseen effects have been overlooked. It should not replace the normal consultations and discussions that take place while a design is being developed.”*

Ces “consultations and discussions that take place while a design is being developed” sont nécessaires pour pouvoir intégrer la stratégie de prévention, exposée au chapitre 3.1.4, dans la conception. Il existe deux raisons pour lesquelles on n'est pas capable, avec un Hazop effectué dans la phase finale de la conception, de respecter cette stratégie de prévention.

La première raison est de nature pratique. Dans une phase avancée de la conception du procédé, il ne reste la plupart du temps aucune possibilité d'encore réaliser des modifications importantes. Trevor Kletz formule cela comme suit (référence [8]):

*“Hazop as described above is carried out late in design. It brings hazards and operating problems to light at a time when they can be put right with an indiarubber rather than a welding set, but at a time when it is too late to make fundamental changes in design.”*

Une deuxième raison concerne la méthode de travail typique de l'étude Hazop suivant laquelle on considère la situation de départ comme une donnée fixe. Il est vérifié en quelle mesure des déviations conduisent à des problèmes, mais pas en quelle mesure des déviations peuvent conduire à d'éventuelles améliorations en matière de sécurité. Par exemple, lors de l'application du mot guide “température haute” sur un réacteur semi-batch, on vérifiera sans doute pendant un Hazop si une température élevée peut mener à une réaction de runaway. Ce n'est toutefois normalement pas l'objectif de vérifier pendant un Hazop si une température de fonctionnement plus élevée rendra la survenance d'une réaction de runaway moins critique ou moins probable. La conception n'est en effet plus remise en question. L'Hazop est une technique de vérification et pas une technique de conception. Les mesures de prévention résultant d'un Hazop se limitent donc souvent à la spécification d'équipements de sécurité supplémentaires plutôt qu'à l'optimisation de la conception suite à l'application des principes de sécurité inhérente. Les possibilités en la matière se créent surtout lors de la conception de nouvelles installations ou de modifications importantes. En limitant l'identification des risques à un Hazop durant le déroulement de la conception du procédé, on supprime par exemple les possibilités d'appliquer la stratégie de prévention générale.

On peut donc, lors du développement d'un procédé, *ne pas* limiter l'identification des événements indésirables à une étude Hazop sur le projet final.

Notons également qu'une étude Hazop ne peut pas être une alternative à une analyse des dangers. Au contraire même, une étude Hazop n'a seulement du sens que si, auparavant, une telle analyse de dangers est réalisée et si les participants aux sessions Hazop ont pris connaissance des résultats de cette étude de dangers. On doit en effet avoir, à l'avance, une bonne vue des problèmes qui peuvent être attendus à la suite de déviations des conditions de procédé ou de composants défectueux. Pour par exemple savoir si une “température haute” ne conduit pas alors à des risques importants, le comportement des substances présentes à cette plus haute température doit être connu. Si une inversion de flux mènent au contact de deux produits incompatibles, le mot guide “flux inverse” n'aura des résultats que si l'équipe d'analyse est au courant de la réaction et du potentiel de danger correspondant.

De ce qui précède, il ne faut pas conclure que la Direction des risques chimiques est contraire à l'utilisation des techniques comme l'Hazop. Elle ne veut pas non plus mettre en doute la contribution que ces techniques ont eues en matière de sécurité dans l'industrie du procédé. Au contraire, la Direction des risques chimiques est un grand défenseur de la réalisation d'une étude Hazop comme vérification sur le diagramme final de tuyauteries et d'instrumentation. Cette étude de vérification doit cependant être réalisée après les analyses des risques appropriées réalisées *au cours* du projet. Ces analyses préliminaires doivent en principe avoir mis à jour la plupart des

scénarios et, sur base de ces analyses, une grande partie des mesures pourront déjà être déterminées. Les nouvelles causes identifiées durant une étude Hazop et les éventuelles mesures supplémentaires qui ont été fixées doivent être documentées dans des fiches de description appropriées pour les scénarios d'accidents. Un rapport d'Hazop ne donne après tout *aucun* aperçu structuré des scénarios d'accidents majeurs!

#### **4.2.6. Etape 5: la définition de la probabilité et de la gravité**

Nous nous limitons ici à l'approche qualitative comme définie au chapitre 3 de cette note.

##### **4.2.6.1 Le facteur de gravité**

Les différentes classes de gravité doivent être divisées d'une manière équilibrée sur l'échelle complète de gravité. Cela n'a que peu de sens de faire une grande distinction entre le nombre de morts. La directive "Seveso" non plus ne trouve pas utile de faire la distinction entre un, deux ou plusieurs morts. Dès qu'un travailleur peut décéder lors d'un accident, celui-ci est à classer comme accident majeur. D'un point de vue éthique, on ne peut d'ailleurs pas justifier que l'on prendrait d'autres mesures si deux ou trois victimes pouvaient décéder plutôt qu'une seule. Un échafaudage sur lequel trois ouvriers travaillent ne sera pas non plus mieux protégé qu'un échafaudage sur lequel une seule personne travaille.

Notons que le graphe de risques décrit dans la norme allemande DIN V 19250 fait, elle, par contre la distinction entre le nombre de morts. Le graphe de risques distingue 4 classes de gravité résumées comme suit:

- classe C1: une blessure limitée;
- classe C2: une blessure permanente d'une ou de plusieurs personnes ou un mort;
- classe C3: plusieurs morts;
- classe C4: beaucoup de morts.

Puisque, dans cette norme, un seul mort n'est estimé qu'avec une relative faible gravité (la deuxième classe de danger par le bas), on se retrouvera également plus vite dans une classe de risque plus basse lorsque l'on combine le facteur de gravité avec d'autres facteurs. Ceci est contraire à l'esprit de la directive "Seveso" qui catalogue le risque d'un accident mortel comme risque d'accident majeur, pour lequel un niveau élevé de protection est exigé. On peut encore faire d'autres réflexions relatives au graphe de risques. Ceux-ci seront abordés au point 4.2.6.3 "Autres facteurs".

Il est préférable de ne pas avoir un nombre total de classes distinctes trop élevé. Plus le nombre de classe est élevé, plus la "marge d'erreur" est grande par classe, et plus le classement dans une certaine classe peut faire l'objet d'une estimation subjective de l'analyste.

Une définition équilibrée des classes de gravité peut, par exemple, se concevoir comme suit:

- D1: dommages localisés, blessures réversibles;
- D2: dommages importants, blessures permanentes;
- D3: issue mortelle mais les conséquences sont limitées à l'entreprise;
- D4: conséquences hors de l'entreprise.

Pour limiter autant que possible la subjectivité de l'estimation de la gravité, il est recommandé d'élargir la description des classes de gravité avec des exemples de blessures typiques et des exemples de dommages qui peuvent servir de référence.



#### 4.2.6.2 *Le facteur de probabilité*

Tout comme pour le facteur de gravité, il est important de définir des classes de probabilité d'une manière équilibrée et claire.

Lors de la description des classes, on ne peut pas se limiter à des descriptions purement qualitatives comme “très improbable”, “probable”, “fréquent”. L'interprétation concrète de ces mots diffère en effet de personne en personne. L'attribution d'ordres de grandeur est une première étape permettant d'objectiver l'estimation du facteur de probabilité.

La subjectivité peut être davantage repoussée en classifiant dans différentes classes de probabilités des événements typiques tels que la défaillance d'appareils courants ou des erreurs humaines. Ceci se fera naturellement de préférence sur base de *ses propres* données d'expérience. Si ceux-ci ne sont pas disponibles, il est indiqué de construire un système pour recueillir de telles informations. En attendant, on peut se reporter sur les données de la littérature et les données des fournisseurs.

Cela n'a pas beaucoup de sens de prévoir beaucoup de sous-divisions pour les très basses probabilités. Des fréquences comme “une fois tous les cent milles ans” ne peuvent plus être perçues par un homme, qui de par sa propre expérience, peut avoir tout au plus la notion du temps de quelques décennies. De plus, durant la période très limitée dans laquelle la technologie de procédé se trouve sous sa forme actuelle - tout au plus 50 ans - des dizaines d'incidents et d'accidents majeurs se sont déjà produits. En pratique, on ne doit donc pas attendre dix milles ans pour avoir des accidents majeurs.

Une classification possible est la suivante:

- P4: très probable. On peut s'attendre à ce que l'événement se reproduise plusieurs fois durant la durée de vie de l'installation. P4 est de l'ordre de grandeur de 1 fois par an.
- P3: probable. On peut s'attendre à ce que l'événement se produise une fois durant la durée de vie de l'installation. P3 est de l'ordre de grandeur de 1 fois tous les 10 ans.
- P2: rare. La période durant laquelle on s'attend à ce que l'événement se produise est considérablement plus grande que la durée de vie de l'installation. L'événement s'est par contre déjà produit et est un “phénomène connu”. P2 est de l'ordre de grandeur de 1 fois tous les 100 ans.
- P1: très rare. Aucune expérience concrète de cet événement n'est connue mais on ne peut toutefois pas totalement l'exclure.

#### 4.2.6.3 *Autres facteurs*

Certains standards comme la norme allemande DIN V 19250 prévoit encore d'autres facteurs comme la mesure selon laquelle on peut esquiver le danger et l'exposition dans la zone de dommages. La Direction des risques chimiques *n'est pas* un défenseur de l'emploi de tels facteurs complémentaires lors de l'estimation du risque.

En général, ils rendent l'évaluation du risque plus compliquée. Plus on prend des facteurs en compte, plus on crée de possibilités d'arriver, par suite de petites différences d'appréciation des facteurs individuels, à un résultat final très différent. Si l'on veut éviter au mieux la subjectivité, ceci n'est certainement pas recommandé. De plus, il existe encore d'autres inconvénients à l'égard des deux facteurs cités plus haut.

Lors de la détermination du facteur “esquiver le danger”, des tas d'aspects sont à considérer: en quelle mesure le danger s'annonce, la vitesse avec laquelle le phénomène se produit, la perception, la capacité de jugement et la vitesse de réaction des victimes possibles, les possibilités d'évacuation, ... . Tous ces aspects sont difficilement objectivement estimables et laissent beaucoup de place aux interprétations subjectives. Dans le contexte spécifique de la sécurité de procédé, on peut de plus poser beaucoup de points d'interrogation relatifs à la pertinence de ce facteur. Des dérèglements dans les installations de procédé se déroulent la plupart du temps à l'intérieur de l'installation, et ne peuvent pas être observés par le personnel se trouvant sur place. Des phénomènes comme les explosions, les incendies, les émissions de produits dangereux peuvent se manifester si soudainement et si massivement, que s'enfuir avant l'apparition des dommages est exclu.

En ce qui concerne le facteur “exposition dans la zone de danger”, on doit remarquer que l'industrie chimique en général est une industrie petite consommatrice de main d'oeuvre. Une automatisation très poussée est propre au secteur. La présence de personnel dans les installations sera par conséquent très basse dans la plupart des cas. Etant donné également l'étendue des installations, il est quasi impensable qu'il se trouve des hommes en permanence dans toutes les zones de dommages possibles. La présence sera, dans la plupart des cas, sporadique, c'est-à-dire déterminée par la chance. Tenir compte du facteur “exposition dans la zone de danger” voudrait, par conséquent dire que l'on tient compte de la chance de maîtriser un risque d'accident majeur. Sur base de ce raisonnement, on pourrait en arriver à la conclusion que les risques d'accidents majeurs doivent être moins maîtrisés que, par exemple, les risques “classiques” d'accidents graves avec des machines demandant la présence permanente du personnel de conduite. Ce n'est naturellement pas l'objectif de la directive “Seveso II” qui exige un niveau élevé de protection. De plus, on ne vise pas non plus à moins bien protéger une installation où seulement 2 hommes en moyenne sont présents, qu'une installation où approximativement 20 personnes sont présentes.

#### **4.2.7. Etape 6: l'évaluation des risques**

Ce qui suit concerne uniquement l'approche qualitative.

La réalisation d'évaluation des risques est en réalité une activité très linéaire si l'on suppose que l'on dispose de critères clairs. Les “input” de l'évaluation du risque sont les données relatives à la gravité et la probabilité issue de l'étape 5. Les “output” de l'évaluation des risques sont les spécifications relatives aux mesures de prévention à prendre. Les critères d'évaluation des risques déterminent la relation entre l'input et l'output. L'application des critères ne pose donc pas trop de difficultés, la définition de ceux-ci par contre bien. Lors de la définition des critères d'évaluation des risques, deux aspects critiques rentrent en ligne de compte:

1. la définition des *limites* du système que l'on veut évaluer et, lié à cela, la définition du *type* des mesures auxquelles on fixe des exigences;
2. la définition d'exigences concrètes à l'égard des mesures de prévention en fonction de l'ampleur du risque.

Il est clair que les mesures que l'on souhaite déterminer sur base de l'évaluation des risques ne peuvent pas faire partie du système dont l'on estime les risques (la gravité et la probabilité). Le type de mesures pour lesquels des critères ont été définis détermine donc la limite du système dont on estime les risques.

En ce qui concerne les exigences définies pour les mesures de prévention, la Direction des risques chimiques utilise un certain nombre de critères minimaux. Ceux-ci peuvent être explicités à l'aide

de la matrice des risques de la figure 4.12 que l'on obtient en combinant les classes de gravité et de probabilité qui ont été données en exemple ci-dessus.

<b>P4</b>				
<b>P3</b>				
<b>P2</b>				
<b>P1</b>				
	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>

P4: très probable / 1 fois par an  
 P3: probable / 1 fois tous les 10 ans  
 P2: rare / 1 fois tous les 100 ans  
 P1: très rare

D4: conséquences hors de l'entreprise  
 D3: issue mortelle  
 D2: blessures permanentes  
 D1: blessures réversibles

Figure 4.12. La matrice des risques

La matrice doit être appliquée sur les systèmes *sans* mesure de protection.

En ce qui concerne les risques qui ont été estimés comme décrits ci-dessus et qui ont été situés dans la matrice des risques de la figure 4.12, les principes suivants sont d'application.

1. On doit toujours tendre à une limitation maximale de la gravité et de la probabilité en appliquant les principes de sécurité inhérente, des mesures passives et un contrôle fiable.
2. Il *n'est pas acceptable* de ramener les risques de la zone hachurée avec des mesures de protection. Ces risques doivent *d'abord* être réduits en modifiant la conception ou le système de contrôle de manière à ce que le risque soit situé hors de la zone hachurée. Lors d'une évaluation du système modifié, le risque doit se situer hors de la zone hachurée. Ensuite, on peut naturellement réduire davantage le risque à l'aide de moyens concordants avec la nouvelle localisation dans la matrice d'interaction.
3. Pour les risques situés dans la zone grise, les mesures de contrôle ne suffisent pas et des *mesures de protection* doivent être prises. Une exception à cette règle est constituée par les risques qui ont été réduits à une très basse probabilité (P1) à l'aide de mesures "passives" (par ex. une protection contre la surpression en choisissant une pression de conception plus grande que la pression maximale qui peut survenir).
4. La fiabilité des mesures de protection doit être (directement) proportionnelle à l'ampleur du risque.
5. Pour les risques d'accidents majeurs (qui sont dans tous les cas ceux avec un facteur de gravité S3 et S4), la protection est:
  - soit automatique et caractérisée par une haute fiabilité (par ex. une soupape de sécurité bien dimensionnée avec une décharge sûre des substances dangereuses);

- soit tolérante à la faute (“fault-tolerant”) ;
- soit “fail safe”.

La tolérance à la faute est la propriété d'un système qui remplit sa fonction allouée en présence d'une ou de plusieurs fautes présent(s) dans l'hardware ou le software du système (cfr. référence [1]). La tolérance à la faute peut être réalisée en prévoyant une redondance dans un système. Des systèmes redondants consistent en deux ou plusieurs appareils remplissant chacun la même fonction de telle sorte que, si une faute survient dans un appareil, un ou plusieurs autres appareils continuent à assurer l'exécution correcte de la fonction.

En cas de protection “fail-safe”, le procédé est amené automatiquement à une position de sécurité lorsque la sécurité défaille (par ex. arrêt de l'installation).

Dans certains cas, il peut être acceptable que la faute soit immédiatement détectée et qu'en attendant d'une réparation rapide, d'autres mesures temporaires soient valables, telles qu'une vigilance accrue de la part des opérateurs. Il est clair qu'une telle mesure est de moins bonne qualité que la redondance ou un système “fail safe”. Elle est uniquement acceptable que lorsque les opérateurs ont effectivement la possibilité de réagir à temps et lorsque ces mesures temporaires ne peuvent être conservées qu'un temps bref.

6. Pour les risques d'accidents majeurs, il doit toujours être donné la préférence à des mesures automatiques par rapport aux mesures demandant une intervention humaine. Ces dernières sont seulement acceptables :
- si une solution automatique n'est pas réalisable techniquement ou si elle n'est pas souhaitable à cause de circonstances très spécifiques;
  - si, pour le personnel d'intervention, il est tout à fait clair quand et comment il doit intervenir; les alarmes concernées sont clairement distinguées des autres alarmes et reçoivent une plus haute priorité;
  - si suffisamment de temps est disponible pour réagir.

Les critères décrits ci-dessus sont seulement des prescriptions minimales devant encore être complétées afin de pouvoir être appliquées en pratique. La définition de critères est de la responsabilité de chaque entreprise. Les critères doivent être mûrement réfléchis et ils doivent recevoir l'approbation du top management de l'entreprise.

#### **4.2.8. Etape 7: la détermination des mesures**

La réglementation décrit une certaine hiérarchie des mesures de prévention. Considérer les mesures de prévention suivant cette hiérarchie peut se faire d'une manière *systématique* en distinguant différentes classes de mesure lors de la documentation des mesures de prévention. Ces classes servent alors comme une sorte de check-list ou d'aide mémoire pour le type des mesures envisagées et pour l'ordre suivant lequel elles ont lieu.

La documentation de sécurité présentée dans cette note permet de spécifier les mesures pour les sources de dommages (substances et réactions) et pour les scénarios.

Les mesures qui ont été spécifiées à l'égard des sources de dommages sont des mesures qui rendent l'installation plus sûre d'une manière inhérente ou, en utilisant les termes de la réglementation, qui éliminent les risques. Quelques exemples ont été donnés dans les feuilles de

données “Mesures” de la Fiche de danger des substances (figure 4.13) et de la Fiche de dangers des réactions (figure 4.14).

Les mesures formulées pour les scénarios rendent la libération indésirée moins probable (éviter les dommages) ou limitent les dommages consécutifs à une éventuelle libération. Dans la feuille de données “Mesures” de la Fiche de description des scénarios (figure 4.15), on retrouve également une première classification des mesures: “mesures qui évitent une libération” et “mesures qui limitent les conséquences d'une libération”. De plus, une distinction est faite entre les “Mesures passives”, les “Mesures matérielles actives” et les “Mesures procédurales”. Les mesures passives remportent la préférence par rapport aux mesures actives et les mesures actives matérielles ont la préférence par rapport aux mesures procédurales (qui sont par définition actives).

Ci-dessus, il a déjà été fait renvoi à la référence [7] dans laquelle des “failure scenario” typiques et des “potential design solutions” correspondantes sont décrites pour différents types d'équipements de procédé. Les “design solutions” sont réparties dans les classes suivantes: “Inherently Safer/Passive”, “Active” et “Procedural”.

Fiche de dangers des substances		
<b>Nom</b>	le nom de la substance	
<b>Mesures relatives à la sécurité inhérente</b>	description des mesures éventuelles qui ont été prises à l'égard de la substance concernée exemples: <ul style="list-style-type: none"> <li>• la substance est utilisée comme moyen de substitution pour une alternative plus dangereuse</li> <li>• les quantités de la substance concernée dans le système concerné sont limitées par une conception spéciale de l'équipement, des mesures organisationnelles, ...</li> <li>• les conditions du procédé dans le système ont été adaptées pour des raisons de sécurité</li> </ul>	
<b>Propriétés inhérentes</b>	<b>Propriétés liées à l'installation</b>	<b>Mesures</b>

Figure 4.13. La feuille de données “Mesures” de la Fiche de dangers des substances

Fiche de dangers des réactions		
<b>Nom</b>	le nom de la réaction concernée	
<b>Mesures relatives à la sécurité inhérente</b>	description des mesures éventuelles qui ont été prises à l'égard de la réaction concernée exemples (pour les réactions désirées): <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'utilisation d'un certain chemin réactionnel comme alternative plus sûre par rapport à un chemin réactionnel plus dangereux</li> <li>• le choix des conditions de réaction afin de rendre le runaway moins probable ou de limiter la montée en pression maximale et la montée en température maximale</li> <li>• l'utilisation d'un certain type de solvant possédant une température d'ébullition en-dessous de la température à laquelle une réaction de runaway survient (la température “on-set”)</li> </ul>	
<b>Propriétés inhérentes</b>	<b>Propriétés liées à l'installation</b>	<b>Mesures</b>

Figure 4.14. La feuille de données “Mesures” de la Fiche de dangers des réactions

<b>Fiche de description des scénarios</b>	
<b>Système</b>	<i>Nom du système pour lequel le scénario de défaillance est considéré</i>
<b>Scénario</b>	<i>Description succincte (par ex. fuite par corrosion, surpression par runaway, ...)</i>
<b>Mesures qui évitent la libération</b>	
<b>N°. cause</b>	<b>Mesures passives</b>
<i>le numéro de la cause</i>	<i>une description de la mesure relative à la cause dont le numéro est repris ci-contre</i>
<b>N°. cause</b>	<b>Mesures actives</b>
<i>idem que ci-dessus</i>	<i>idem que ci-dessus</i>
<b>N°. cause</b>	<b>Mesures procédurales</b>
<i>idem que ci-dessus</i>	<i>idem que ci-dessus</i>
<b>Mesures qui limitent les conséquences d'une libération</b>	
<b>N°. conséquence</b>	<b>Mesures passives</b>
<i>le numéro de la conséquence (issu de la feuille de données des causes et conséquences)</i>	<i>une description de la mesure relative à la conséquence dont le numéro est repris ci-contre</i>
<b>N°. conséquence</b>	<b>Mesures actives</b>
<i>idem que ci-dessus</i>	<i>idem que ci-dessus</i>
<b>N°. conséquence</b>	<b>Mesures procédurales</b>
<i>idem que ci-dessus</i>	<i>idem que ci-dessus</i>
<b>Causes et conséquences</b>	<b>Mesures</b>

Figure. 4.15 La feuille de données “Mesures” de la Fiche de description des scénarios

## 5. Références

- [1] Center for Chemical Process Safety, *Guidelines for Safe Automation of Chemical Processes*, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1993
- [2] European Process Safety Centre, *Safety Integrity. The implications of IEC 61508 and other standards for the process industries*, Institution of Chemical Engineers, Rugby (UK), 1999
- [3] KLETZ T.A. , *Cheaper, Safer Plants, or Wealth and Safety at Work*, The Institution of Chemical Engineers, Rugby, Warwickshire, England, 1984
- [4] Center for Chemical Process Safety, *Inherently Safer Chemical Processes, A life cycle approach*, ed. by Daniel A. Crowl, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1996
- [5] Université de Liège, *Guide pour l'identification et l'évaluation des dangers des réactions thermiques de runaway*, Ministère Fédéral de l'Emploi et du Travail, Direction des risques chimiques, 1998
- [6] BREATHERICK L., *Handbook of Reactive Chemical Hazards*, 5th Edition, ed. by P.G. Urben, Butterworth-Heineman, London, 1995
- [7] Center for Chemical Process Safety, *Guidelines for Design Solutions for Process Equipment Failures*, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1998
- [8] T. Kletz, *Hazop and Hazan, Identifying and assessing process industry hazards*, Institution of Chemical Engineers, Rugby (UK), 1999, p. 34.