

# **la maîtrise des risques d'accident majeur**

**guide pratique**

Contribution de l'OIT  
au Programme international sur la sécurité des substances chimiques  
mené conjointement par le PNUE, l'OIT et l'OMS (IPCS)



Copyright © Organisation internationale du Travail 1993  
Première édition 1993. Les publications du Bureau international du Travail jouissent de la protection du droit d'auteur en vertu du protocole n° 2, annexe à la Convention universelle pour la protection du droit d'auteur. Toutefois, de courts passages pourront être reproduits sans autorisation, à la condition que leur source soit dûment mentionnée. Toute demande d'autorisation de reproduction ou de traduction devra être adressée au Service des publications (Droits et licences), Bureau international du Travail, CH-1211 Genève 22, Suisse. Ces demandes seront toujours les bienvenues.

---

BIT  
La maîtrise des risques d'accident majeur – guide pratique  
Genève, Bureau International du Travail, 1993

/Guide /, / Sécurité du travail /, / Formation à la sécurité/13.04.2

ISBN 92-2-206432-1

Titre de la version originale en anglais: *Major hazard control: A practical manual* (ISBN 92-2-106432-8), Genève, 1988

HS/G 28, HS/G 30, HS/G 34 in Appendix 5 are British Crown copyright. Translated and published by permission of the Controller of Her Britannic Majesty's Stationery Office.

*Données de catalogage du BIT*

---

Les désignations utilisées dans les publications du BIT, qui sont conformes à la pratique des Nations Unies, et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Bureau international du Travail aucune prise de position quant au statut juridique de tel ou tel pays, zone ou territoire, ou de ses autorités, ni quant au tracé de ses frontières.

Les articles, études et autres textes signés n'engagent que leurs auteurs et leur publication ne signifie pas que le Bureau international du Travail souscrit aux opinions qui y sont exprimées.

La mention ou la non-mention de telle ou telle entreprise ou de tel ou tel produit ou procédé commercial n'implique de la part du Bureau international du Travail aucune appréciation favorable ou défavorable.

Le Bureau international du Travail n'assume aucune responsabilité en ce qui concerne l'usage susceptible d'être fait des directives données dans ce guide.

Les publications du Bureau international du Travail peuvent être obtenues dans les principales librairies ou auprès des bureaux locaux du BIT. On peut aussi se les procurer directement, de même qu'un catalogue ou une liste des nouvelles publications, à l'adresse suivante: Publications du BIT, Bureau international du Travail, CH-1211 Genève 22, Suisse.

## Préface

Flixborough, Seveso, Bhopal, Schweizerhalle: derrière ces noms et d'autres, autant de catastrophes industrielles qui ont conduit à dégager la notion d'«accident majeur» et à rechercher les moyens de prévenir ces accidents ou d'en limiter les conséquences s'il devait tout de même s'en produire. Qu'il s'agisse d'incendies, d'explosions ou d'émissions toxiques, ces accidents peuvent faire en effet de nombreuses victimes parmi les travailleurs et la population, avec des conséquences souvent fatales, exiger l'évacuation des habitants des zones touchées, porter de graves atteintes à l'environnement. La question est à l'ordre du jour partout dans le monde. Comment prévenir les catastrophes industrielles? Ce guide, dont l'élaboration a été recommandée par une réunion tripartite de consultants convoquée par le Bureau international du Travail en 1985, après le drame de Bhopal, fait écho au débat public qui s'est engagé à ce sujet.

La production, le stockage et l'utilisation d'une quantité toujours croissante de produits dangereux entraînent inéluctablement des risques d'accident majeur. Il est indispensable, pour éviter les catastrophes industrielles, de mettre en œuvre de façon systématique un ensemble de mesures bien définies. Ce guide traite le problème de la sûreté des installations à hauts risques à tous les stades de leur aménagement – implantation, conception, construction – et de leur exploitation. Il propose une méthode pour le recensement de ces installations et décrit tous les éléments d'un système complet de prévention et de protection. Face au danger que les accidents peuvent faire courir aux travailleurs et à la population, il préconise l'établissement de plans d'intervention à l'intérieur des installations et dans les zones avoisinantes et en décrit de façon détaillée le contenu.

Le guide ne traite pas des mesures de sécurité et d'hygiène qui relèvent de l'exploitation courante, normale, des installations. Il ne traite pas non plus de la sécurité dans les installations nucléaires ni de la sécurité dans le transport national ou international des produits chimiques dangereux, qui font généralement l'objet, sur le plan législatif et du point de vue de l'exploitation, de dispositions particulières.

Le but de l'ouvrage est d'aider tous les pays qui souhaitent mettre en place un système de prévention des risques d'accident majeur. Le système qu'il propose vaut aussi bien pour les pays qui ont déjà pris certaines dispositions que pour ceux qui entreprennent aujourd'hui de se doter d'un tel système. Il apporte des informations indispensables aux administrations compétentes, aux organes d'inspection, à tous les services qui peuvent avoir à participer aux actions de prévention et de protection – corps de sapeurs-pompiers, hôpitaux, services de police, etc. –, comme aux exploitants des installations et aux syndicats.

L'ouvrage est le fruit de la collaboration des services du BIT et de plusieurs experts. Le BIT tient à exprimer ses remerciements aux consultants qui lui ont apporté leur concours. MM. D. Hesel, de l'Association de contrôle technique de Rhénanie (Allemagne), C.A.W.A. Husmann, de la Direction générale du travail du ministère des Affaires sociales et de l'Emploi des Pays-Bas, et A.F. Ellis (Royaume-Uni) en sa qualité d'expert du BIT en matière de prévention des risques majeurs.

G. R. Kliesch,  
*Directeur du Département des conditions  
et du milieu de travail,  
Bureau international du Travail.*



# Propos

Ce guide décrit les divers éléments d'un système de prévention des risques d'accident majeur et d'intervention en cas d'accident. Bien qu'il s'adresse plus particulièrement aux pays qui n'ont pas encore de tels systèmes et qui envisagent d'en établir un, il devrait être utile aussi à ceux, nombreux, qui comptent des installations à hauts risques et qui ont déjà mis en place un premier dispositif, celui-ci ne comprend-il pas encore l'ensemble des mesures désormais prévues au niveau de la Communauté européenne.

L'établissement d'un système de prévention et de protection se fait généralement par étapes. Le guide tient compte de cette donnée et définit dans cette optique l'action prioritaire. Cette action fait intervenir les administrations compétentes et les services d'inspection aux échelons national et local, les exploitants des installations, les syndicats et tous les organismes qui doivent être associés à la mise en œuvre des plans d'intervention en cas d'accident – corps de sapeurs-pompiers, hôpitaux, services de police et autres instances.



# Table des matières

**Préface** v

**Propos** vii

## **1. Introduction** 1

- 1.1 Les risques d'accident majeur 1
- 1.2 Types de risques et conséquences 1
  - 1.2.1 Explosions 2
    - 1.2.1.1 Déflagrations et détonations 3
    - 1.2.1.2 Explosions de gaz, explosions de poussières 3
    - 1.2.1.3 Explosions en milieu confiné, explosions en milieu non confiné 3
  - 1.2.2 Incendies 3
    - 1.2.2.1 Explosions de vapeurs en expansion provenant d'un liquide en ébullition 4
  - 1.2.3 Emissions toxiques 4
- 1.3 Système de prévention des risques d'accident majeur et d'intervention en cas d'accident 5
- 1.4 Activités non visées 6

## **2. Identification des installations présentant des risques d'accident majeur** 7

- 2.1 But et méthodes 7
- 2.2 La directive des Communautés européennes 7
- 2.3 Action prioritaire 8
- 2.4 Principales installations présentant des risques d'accident majeur 9

## **3. Rôle des exploitants** 11

- 3.1 Etude des dangers 11
  - 3.1.1 Méthodes de diagnostic 12
    - 3.1.1.1 Etude préliminaire des dangers 12
    - 3.1.1.2 Etude systématique des dangers et des conditions de fonctionnement 13
    - 3.1.1.3 Autres méthodes 15
    - 3.1.1.4 Analyse des conséquences des accidents 15
  - 3.2 Les causes des accidents majeurs 15
    - 3.2.1 Défaillances des installations 16
    - 3.2.2 Déviations par rapport aux conditions normales d'exploitation 16
    - 3.2.3 Erreurs humaines, défauts d'organisation 16
    - 3.2.4 Accidents extérieurs 17
    - 3.2.5 Phénomènes naturels 17
    - 3.2.6 Actes de malveillance ou de sabotage 17
    - 3.2.7 Autres types de défaillances ou d'incidents 17
  - 3.3 La sûreté d'exploitation des installations présentant des risques d'accident majeur 17
    - 3.3.1 Conception des installations 18
    - 3.3.2 Commande et régulation des installations 18
    - 3.3.3 Systèmes de sécurité 19
      - 3.3.3.1 Systèmes visant à prévenir les déviations par rapport aux conditions d'exploitation admissibles 19

- 3.3.3.2 Systèmes visant à prévenir les défaillances des éléments critiques des installations 20
- 3.3.3.3 Systèmes visant à assurer l'alimentation en énergie et en fluides d'exploitation 20
- 3.3.3.4 Systèmes d'alarme 20
- 3.3.3.5 Dispositifs de protection 20
- 3.3.3.6 Mesures visant à atténuer les conséquences des accidents 20
- 3.3.3.7 Prévention des erreurs humaines et des défauts d'organisation 20
- 3.3.4 Entretien et surveillance des installations 21
- 3.3.5 Inspection et réparations 21
- 3.3.6 Formation 21
- 3.4 Atténuation des conséquences des accidents 21
- 3.5 Rapports aux autorités compétentes 22
  - 3.5.1 But 22
  - 3.5.2 Informations à fournir 23
    - 3.5.2.1 Notification (identification des installations présentant des risques d'accident majeur) 23
    - 3.5.2.2 Rapport de sécurité 23
    - 3.5.2.3 Rapports d'accident 25
  - 3.5.3 Mise à jour des rapports de sécurité 26

## **4. Rôle des pouvoirs publics** 27

- 4.1 Identification des installations présentant des risques d'accident majeur 27
- 4.2 Système de rapports de sécurité 27
- 4.3 Mesures visant à limiter les conséquences des accidents 27
- 4.4 Autres mesures 27
  - 4.4.1 Implantation géographique des installations 27
  - 4.4.2 Programme d'inspection 28

## **5. Rôle des travailleurs et de leurs organisations** 29

- 5.1 Rôle des travailleurs 29
- 5.2 Rôle des organisations de travailleurs 29

## **6. Plans d'intervention en cas d'accident** 31

- 6.1 Introduction 31
  - 6.1.1 Définition 31
  - 6.1.2 Observations générales 31
  - 6.1.3 Objectifs 31
  - 6.1.4 Détermination des situations à prévoir 31
- 6.2 Plans d'intervention à l'intérieur des installations 33
  - 6.2.1 Elaboration du plan et organisation des services d'intervention 33
  - 6.2.2 Moyens d'alarme et de communication 34
  - 6.2.3 Désignation des responsables et définition de leurs fonctions 35
    - 6.2.3.1 Chef d'intervention 35
    - 6.2.3.2 Directeur général des secours 35

- 6.2.4 Poste de commandement 36
- 6.2.5 Mesures à prendre à l'intérieur des installations 36
- 6.2.6 Arrêt des installations 37
- 6.2.7 Exercices d'application des plans 37
- 6.2.8 Critique et mise à jour des plans 38
- 6.3 Plans d'intervention à l'extérieur des installations 38
  - 6.3.1 Introduction 38
  - 6.3.2 Contenu du plan 39
  - 6.3.3 Rôle du coordonnateur général des secours 40
  - 6.3.4 Rôle de l'exploitant 40
  - 6.3.5 Rôle des autorités locales 40
  - 6.3.6 Rôle de la police 40
  - 6.3.7 Rôle des sapeurs-pompiers 40
  - 6.3.8 Rôle des services médicaux 41
  - 6.3.9 Rôle de l'organisme chargé de la sécurité et de la santé au travail 41
  - 6.3.10 Exercices d'application des plans 41

## 7. Mise en œuvre du système de prévention et d'intervention en cas d'accident 43

- 7.1 Introduction 43
- 7.2 Identification des installations présentant des risques d'accident majeur 43
- 7.3 Programme d'action 43
  - 7.3.1 Constitution d'un groupe d'experts 43
  - 7.3.2 Plans d'intervention à l'intérieur des installations 44
  - 7.3.3 Plans d'intervention à l'extérieur des installations 44
  - 7.3.4 Implantation géographique des installations 45
  - 7.3.5 Formation des inspecteurs 45
  - 7.3.6 Etablissement de listes de contrôle 46
  - 7.3.7 Visite des installations par les inspecteurs 46
  - 7.3.8 Visite des installations par des inspecteurs spécialisés 47
  - 7.3.9 Etude des risques d'accident majeur 47
  - 7.3.10 Suite à donner à l'étude des risques 48
  - 7.3.11 Information de la population 48

## 8. Personnel et moyens nécessaires 49

- 8.1 Besoins en personnel 49
- 8.2 Besoins en matériel 49
- 8.3 Sources d'information 49

## Bibliographie 51

## Annexes

1. Liste de substances dangereuses et quantités seuils 53
2. Méthode de classement rapide des éléments ou secteurs d'installation par degré de risque 59
3. L'étude des dangers et des conditions de fonctionnement 73
4. Méthodes de calcul des conséquences des accidents 117
5.
  - a) Le stockage des GPL dans des dépôts fixes 127
  - b) Sécurité dans les installations de manutention et de stockage du chlore en vrac 169
  - c) Le stockage de l'ammoniac anhydre sous pression 223
6. Rapport de sécurité 255
7. Formule de notification des accidents majeurs 293
8. Occupation des sols à proximité des installations à hauts risques 297

## Figures

1. Rôle de l'exploitant dans le système de prévention et de protection 11
2. Etude des dangers et des conditions de fonctionnement. Exemple: schéma de l'installation 14
3. Fonctionnement des systèmes de surveillance et de protection 19

## Tableaux

1. Accidents industriels majeurs: explosions 3
2. Accidents industriels majeurs: incendies 4
3. Accidents industriels majeurs: dégagements de produits toxiques 5
4. Substances dangereuses selon la directive des Communautés européennes 8
5. Produits chimiques à considérer en priorité pour l'identification des installations présentant des risques d'accident majeur 8
6. Etude des dangers: méthodes 12
7. Etude préliminaire des dangers. Exemple: dépôt de gaz de pétrole liquéfié 13
8. Effets du souffle d'une explosion 33
9. Effets du rayonnement thermique sur la peau non protégée 33
10. Effets du chlore sur l'homme 33



# 1. Introduction

La multiplication des utilisations industrielles de produits chimiques dangereux entraîne une augmentation considérable du nombre des personnes, parmi les travailleurs et dans la population en général, dont la vie peut être menacée un jour par un accident dû à ces produits. La rapidité du progrès technique laisse à l'homme moins de temps qu'autrefois pour faire son apprentissage et exige de plus en plus qu'installations et procédés soient parfaitement étudiés dès le début. De plus, la sécurité dans l'industrie chimique ne se limite pas au périmètre des installations. L'inquiétude que suscitent les catastrophes industrielles – explosions par exemple – et leur lourd bilan engendrent inévitablement des demandes de mesures supplémentaires aux niveaux national et international. Il est donc important, notamment lors de l'aménagement d'installations où doivent être stockés et utilisés des produits chimiques dangereux, d'envisager non seulement la sécurité des installations elles-mêmes, mais aussi celle du voisinage.

On s'attachera, dans ce chapitre, à présenter une définition des risques d'accident industriel majeur, à indiquer les principaux types de risques et leurs conséquences et à tracer les grandes lignes du système de prévention et d'intervention en cas d'accident. Certaines activités ne sont pas visées par ce manuel; elles sont indiquées en fin de chapitre.

## 1.1. Les risques d'accident majeur

Octobre 1987: en France, un incendie dans un entrepôt d'engrais (nitrate d'ammonium) nécessite l'évacuation de 60 000 personnes. Avril 1987: un incendie de méthane fait 4 morts et 1 blessé en Italie. Novembre 1986: une explosion de chlorure de vinyle fait 17 morts et 19 blessés en Bulgarie. Avril 1986: une explosion de feux d'artifice tue 11 personnes et en blesse 8 aux Philippines. Février 1986: une fuite de chlore cause 76 intoxications aux Etats-Unis. Ce n'est là qu'un échantillon d'événements récents annoncés par la presse.

Des cas bien plus graves peuvent être cités. A Bhopal (Inde), en 1984, le dégagement d'isocyanate de méthyle causait le décès de plus de 2 000 personnes et en atteignait 200 000 dans leur santé. Deux semaines plus tôt, une explosion de gaz de pétrole liquéfié faisait 650 morts et plusieurs milliers

de blessés à Mexico. Une explosion de propane à Ortuella (Espagne) en 1980 causait 51 morts et faisait de nombreux blessés. A Seveso (Italie), en 1976, 30 personnes étaient intoxiquées et 220 000 devaient être évacuées des villages environnants à la suite d'un dégagement de dioxine, conséquence du mauvais fonctionnement d'une installation. En 1974, une explosion de cyclohexane tuait 28 personnes et en blessait 89 à Flixborough (Royaume-Uni). En plus des dommages humains, les pertes économiques causées par de telles catastrophes sont énormes.

Différents sans doute quant à leurs causes, leur déroulement et les produits chimiques en jeu, ces événements présentent tous, cependant, une similitude: ce sont des événements échappant à tout contrôle – incendies, explosions ou dégagements de substances toxiques –, qui peuvent faire de nombreuses victimes à l'intérieur et à l'extérieur des installations et causer des dégâts considérables aux biens et à l'environnement. De là s'est dégagée la notion de «risques d'accident industriel majeur», applicable au stockage et à l'utilisation de produits chimiques inflammables, explosifs ou toxiques, susceptibles de provoquer de telles catastrophes. Le risque est fonction à la fois de la nature du produit et de la quantité qui se trouve à l'endroit considéré.

Ces dernières années, un grand effort de réglementation a été entrepris pour lutter contre les risques d'accident majeur. Le plus notable est celui du Conseil des Communautés européennes, qui a arrêté en 1982 une directive sur les risques d'accident majeur liés à certaines activités industrielles. Dans cette directive, le terme «accident majeur» est défini comme suit: «un événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion de caractère majeur, en relation avec un développement incontrôlé d'une activité industrielle, entraînant un danger grave, immédiat ou différé, pour l'homme, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, et/ou pour l'environnement, et mettant en jeu une ou plusieurs substances dangereuses».

## 1.2. Types de risques et conséquences

Les risques d'accident industriel majeur sont généralement associés à la présence de produits chimiques dangereux susceptibles de s'enflammer,

d'exploser ou de se disperser, ces produits s'échappant habituellement d'installations ou de réservoirs et, dans le cas des produits volatils, se vaporisant et se dispersant dans l'air.

Les accidents qui peuvent se produire sont notamment les suivants:

- fuite d'une substance inflammable, mélange de cette substance avec l'air, formation d'un nuage de vapeurs inflammables et déplacement du nuage vers une source d'inflammation, entraînant un incendie ou une explosion qui touche les installations et, le cas échéant, des zones habitées;
- fuite d'une substance toxique, formation d'un nuage de vapeurs toxiques et déplacement du nuage, qui atteint les installations et, le cas échéant, des zones habitées.

En ce qui concerne les substances inflammables, le plus grand risque provient de l'échappement massif et soudain d'un liquide volatil ou d'un gaz, donnant lieu à la formation d'un grand nuage de vapeurs inflammables ou explosives. En cas d'inflammation de ce nuage, les effets de la combustion dépendent de nombreux facteurs, notamment la vitesse du vent et le degré de dilution du nuage dans l'air. Un accident peut faire de nombreuses victimes et d'énormes dégâts à l'intérieur et à l'extérieur des installations. Cependant, même en cas d'accident grave, l'effet est généralement limité à un rayon de quelques centaines de mètres autour des installations.

Le dégagement soudain d'une très grande quantité d'une substance toxique peut entraîner des morts et causer de graves intoxications sur des distances bien supérieures. En théorie, un tel dégagement peut, dans certaines conditions météorologiques, produire des concentrations létales à plusieurs kilomètres du point d'origine, le nombre des victimes dépendant de la densité de la population sur le trajet du nuage et de l'efficacité des mesures de protection (qui peuvent comporter l'évacuation de la population).

Certaines installations ou certains groupes d'installations présentent les deux types de risques. En cas d'explosion dans une installation, le souffle et les débris projetés peuvent endommager d'autres installations contenant des matières inflammables ou

toxiques et provoquer une catastrophe en chaîne (on parle parfois de l'«effet de dominos»). Un tel phénomène peut se produire dans les zones où les entreprises industrielles se regroupent en raison d'un accès facile à l'énergie, à l'eau ou à la main-d'œuvre, situation qui facilite par ailleurs les transports de l'une à l'autre. Il est courant par exemple de rencontrer une série d'usines contiguës présentant une combinaison de risques d'explosion et de risques toxiques le long des fleuves, des estuaires ou au voisinage de zones habitées.

Le dégagement de substances inflammables ou toxiques dans l'atmosphère risque ainsi d'entraîner des explosions, des incendies ou la formation de nuages toxiques, phénomènes que nous allons étudier de plus près.

### 1.2.1. Explosions

Les explosions se caractérisent par une onde de choc, perçue comme un bruit violent, qui peut endommager les bâtiments, briser les vitres et projeter des débris sur des distances de plusieurs centaines de mètres. C'est principalement l'onde de choc qui fait des victimes et cause des dégâts. Les gens sont emportés ou jetés à terre par le souffle, ensevelis sous les décombres, blessés par des éclats de verre. La surpression peut entraîner directement la mort, mais c'est un risque circonscrit en principe aux abords immédiats du lieu de l'explosion. L'expérience montre que les effets indirects – l'écroulement des bâtiments, les projections de verre et de débris – provoquent de loin la plus grande partie des décès et des lésions.

Les effets de l'onde de choc varient en fonction de la nature de la substance explosive, de la quantité présente et du degré de confinement du nuage de vapeurs. C'est ainsi que la pression maximale engendrée par l'explosion peut aller d'une légère surpression à quelques centaines de kilopascals (kPa). Des lésions directes se produisent à des pressions de 5–10 kPa, généralement mortelles à une surpression plus importante; les habitations sont détruites, les fenêtres et les portes brisées à des pressions de 3–10 kPa. La pression de l'onde de choc décroît rapidement quand on s'éloigne du lieu de l'explosion; ainsi, l'explosion d'un réservoir contenant 50 t de propane engendre une pression de 14 kPa à 250 m et une pression de 5 kPa à 500 m du réservoir.

### 1.2.1.1. Déflagrations et détonations

Suivant la vitesse de combustion de la substance explosive, l'explosion prend la forme d'une déflagration ou d'une détonation. On parle de déflagration lorsque la vitesse de combustion ou la vitesse de propagation de la flamme est relativement lente, de l'ordre de 1 m/s. Lors d'une détonation, la vitesse de propagation est extrêmement grande; le front de flamme avance comme une onde de choc à une vitesse de 2 000 à 3 000 m/s. Une détonation engendre une pression plus importante et est beaucoup plus dévastatrice qu'une déflagration. L'explosion d'un réservoir clos à la pression atmosphérique, qui produit, s'il s'agit d'une déflagration, une pression maximale de 70–80 kPa environ, peut facilement engendrer, s'il s'agit d'une détonation, une pression de 200 kPa. La forme de l'explosion – déflagration ou détonation – dépend de la nature de la substance et des conditions dans lesquelles l'explosion se produit. Il est généralement admis qu'une explosion en phase vapeur nécessite un certain degré de confinement pour donner lieu à une détonation.

### 1.2.1.2. Explosions de gaz, explosions de poussières

Suivant la substance, on peut distinguer les explosions de gaz et les explosions de poussières. En général, les grandes explosions de gaz se produisent à la suite du dégagement d'une importante quantité d'une substance inflammable qui se disperse dans l'air, forme un nuage de vapeurs explosives et s'enflamme. Les explosions de poussières se produisent à la suite de la formation d'un mélange de particules solides inflammables avec l'air. La matière dispersée se présente sous la forme de poudre à particules très fines. L'explosion est déclenchée par une cause telle qu'un incendie ou une petite explosion initiale qui souffle les poussières déposées et les met en suspension dans l'air. Après mélange avec l'air, il se produit une explosion secondaire qui, à son tour, peut déclencher une explosion tertiaire, et ainsi de suite. De tels enchaînements d'explosions ont entraîné des catastrophes et la destruction d'usines entières. Les poussières de céréales, la poudre de lait et la farine sont inflammables, et les explosions de poussières sont relativement fréquentes dans les industries agro-alimentaires. Toutefois, l'expérience montre, notamment les explosions qui se sont

produites ces dernières années, que les effets se limitent en général aux installations et n'atteignent que rarement les personnes qui se trouvent à l'extérieur.

### 1.2.1.3. Explosions en milieu confiné, explosions en milieu non confiné

Les explosions en milieu confiné sont celles qui se produisent à l'intérieur d'un espace clos tel qu'un réservoir ou une canalisation; les explosions qui ont lieu dans des bâtiments relèvent également de cette catégorie. Les explosions en milieu non confiné sont celles qui se produisent à l'espace libre. Les secondes engendrent des pressions maximales de quelques kPa seulement; les pressions causées par des explosions en milieu confiné sont généralement plus élevées et peuvent atteindre des centaines de kPa. Le tableau 1 donne une liste d'explosions qui ont eu lieu dans des installations industrielles; dans tous les cas, il s'agit d'explosions de nuages de vapeurs qui ont quelquefois pris la forme de détonations en milieu confiné.

**Tableau 1. Accidents industriels majeurs: explosions**

Lieu et année	Produit chimique	Conséquences	
		Morts	Blessés
Ludwigshafen, Allemagne, 1948	Ether diméthylrique	245	3 800
Bitburg, Allemagne, 1954	Kérosène	32	16
Lake Charles, Louisiane, Etats-Unis, 1967	Isobutane	7	13
Pernis, Pays-Bas, 1968	Boues de pétrole	2	85
Saint-Louis, Illinois, Etats-Unis, 1972	Propylène	–	230
Decatur, Illinois, Etats-Unis, 1974	Propane	7	152
Flixborough, Royaume-Uni, 1974	Cyclohexane	28	89
Beek, Pays-Bas, 1975	Propylène	14	107

### 1.2.2. Incendies

Le feu provoque, chez l'homme, des brûlures cutanées dues à l'exposition à la chaleur. La gravité des brûlures dépend de l'intensité de la chaleur et du temps d'exposition. Le rayonnement thermique est inversement proportionnel au carré de la distance de la source. La peau résiste à une énergie thermique de 10 kW/m<sup>2</sup> pendant 5 secondes environ et à une énergie de 30 kW/m<sup>2</sup> pendant

0,4 seconde seulement avant que la douleur se manifeste.

Plus fréquents dans l'industrie que les explosions et les émissions toxiques, les incendies font généralement moins de victimes. On pourrait donc considérer que le risque d'accident majeur est ici plus faible. Cependant, en cas de dégagement d'une substance inflammable, celle-ci peut former, si elle ne s'enflamme pas tout de suite, un nuage de vapeurs avec risque d'explosion. Cette éventualité est envisagée dans la section 1.2.1.

Les feux peuvent prendre différentes formes: feux de jet, feux de liquide stagnant, feux à combustion instantanée, explosions de vapeurs en expansion provenant d'un liquide en ébullition. Un feu de jet peut se déclarer par exemple en cas de fuite sur une conduite de gaz; il a l'aspect d'une flamme longue et mince. Un feu de liquide stagnant peut se produire en cas de débordement dans la cuvette de rétention d'un réservoir d'hydrocarbure. Un feu à combustion instantanée peut éclater en cas de dégagement de gaz, lorsqu'il se forme un nuage de gaz qui atteint une source d'inflammation. Quant aux explosions de vapeurs en expansion provenant d'un liquide en ébullition, accidents en général beaucoup plus graves, on en traitera plus longuement ci-après.

Les incendies peuvent aussi faire des victimes à cause de la raréfaction de l'oxygène dans l'atmosphère, la combustion se nourrissant d'oxygène; c'est un risque qui n'existe en principe qu'à proximité immédiate du feu. Il ne faut pas non plus négliger les effets dangereux de l'exposition aux fumées, lesquelles peuvent contenir des gaz toxiques tels que le dioxyde de soufre (issu de la combustion de sulfure de carbone) et les oxydes d'azote (issus de la combustion de nitrate d'ammonium).

### 1.2.2.1. Explosions de vapeurs en expansion provenant d'un liquide en ébullition

C'est le phénomène qu'on appelle BLEVE (sigle anglais de *boiling liquid expanding vapour explosion*) ou parfois, plus simplement, «boule de feu». A la fois feu et explosion, une BLEVE provoque un dégagement de chaleur de forte intensité pendant un laps de temps relativement court. Ce phénomène peut se produire avec des gaz liquéfiés conservés dans des réservoirs ou des récipients

sous pression à une température supérieure à leur point d'ébullition (à la pression atmosphérique). En cas de défaillance du réservoir, le contenu s'échappe instantanément sous la forme d'un mélange turbulent de liquide et de gaz en expansion rapide qui se disperse dans l'air en nuage; si ce nuage s'enflamme, il se forme une boule de feu accompagnée en quelques secondes d'un rayonnement thermique d'une énorme intensité. Suivant la quantité de gaz présente, cette chaleur peut provoquer des brûlures graves et même la mort à plusieurs centaines de mètres du réservoir. L'accident peut être occasionné par un impact physique sur un réservoir déjà soumis à des contraintes excessives ou endommagé, par exemple en cas d'accident de la circulation ou de déraillement (camions ou wagons-citernes); il peut également être provoqué par un incendie qui atteint le réservoir. Avec un réservoir contenant 50 t de propane, le phénomène peut occasionner des brûlures du troisième degré à une distance de 200 m environ et des ampoules jusqu'à 400 m environ.

Une liste de quelques grands incendies est donnée au tableau 2. Il est parfois difficile de distinguer incendie et explosion. Les explosions sont assez souvent suivies d'un incendie, les deux phénomènes faisant des victimes.

**Tableau 2. Accidents industriels majeurs: incendies**

Lieu et année	Produit chimique	Conséquences	
		Morts	Blessés
Cleveland, Ohio, Etats-Unis, 1944	Méthane	136	77
Feyzin, France, 1966	GPL <sup>1</sup> (BLEVE)	18	90
Staten Island, New York, Etats-Unis, 1973	GNL <sup>2</sup>	40	–
Santa Cruz, Mexique, 1978	Méthane	52	–
Mexico, Mexique, 1985	GPL (BLEVE)	650	2 500

<sup>1</sup> Gaz de pétrole liquéfié.

<sup>2</sup> Gaz naturel liquéfié.

### 1.2.3. Emissions toxiques

Il existe une multitude de produits chimiques qu'il faut employer avec des précautions particulières pour qu'ils n'aient pas d'effets nocifs sur les travailleurs. C'est la tâche de l'hygiène du travail que de mettre au point des méthodes

appropriées pour prévenir l'exposition à ces produits, sur une période qui peut s'étendre à toute la vie active des travailleurs. Il s'agit là d'une action d'une importance vitale pour la santé de ceux-ci.

Du point de vue des risques d'accident majeur, le problème des produits chimiques toxiques est très différent: en cas d'accident, on a affaire à une exposition de type aigu pendant et peu après l'accident, et non à une exposition chronique de longue durée. Le risque dont traite ce manuel, en d'autres termes, est celui de dégagement de produits toxiques, dans des installations où ils sont stockés ou utilisés souvent en grande quantité, produits qui, dispersés par le vent, risquent de provoquer des intoxications parfois mortelles chez des personnes vivant peut-être à plusieurs centaines de mètres des installations et n'ayant pas la possibilité de se mettre à l'abri.

La toxicité des produits chimiques est généralement déterminée à l'aide de quatre grandes méthodes: les enquêtes après incident, les enquêtes épidémiologiques, l'expérimentation sur l'animal et les essais sur micro-organismes. Malgré leur valeur évidente, ces méthodes présentent toutes des faiblesses qu'il n'y a pas lieu d'examiner ici mais qui imposent la prudence dans l'interprétation des résultats. Toutes sortes de facteurs influent sur la toxicité des produits chimiques, par exemple l'âge, le sexe, les antécédents génétiques, le groupe ethnique, l'alimentation, la fatigue, la maladie, l'exposition à d'autres substances ayant des effets synergiques, les horaires et le régime de travail.

Les données toxicologiques ne sont pas très abondantes, mais on a établi la toxicité de certains produits. Le chlore, par exemple, est dangereux pour la santé humaine à des concentrations de 10–20 parties par million (ppm) lors d'une exposition de 30 minutes; ce gaz est mortel à des concentrations de 100–150 ppm lors d'une exposition de 5 à 10 minutes; une exposition plus courte peut entraîner la mort à une concentration de 1 000 ppm. Le dégagement instantané de 10 t de chlore peut produire une concentration maximale de 140 ppm à une distance de 2 km de la source dans le lit du vent et de 15 ppm à une distance de 5 km par temps normal stable.

Le tableau 3 donne une liste d'accidents industriels graves consécutifs au dégagement de produits toxiques, dont plusieurs ont fait des morts. Le chlore et l'ammoniac sont les produits toxiques les plus fréquemment utilisés en quantités comportant un risque majeur; tous deux ont été à l'origine d'accidents graves. D'autres produits chimiques, tels que l'isocyanate de méthyle et la dioxine, exigent eux aussi des précautions particulières en raison de leur toxicité, même s'ils sont mis en œuvre en quantités moindres. Un certain nombre de ces produits très toxiques ont été inclus dans la directive dite «de Seveso» du Conseil des Communautés européennes (voir annexe 1).

**Tableau 3. Accidents industriels majeurs: dégagements de produits toxiques**

Lieu et année	Produit chimique	Conséquences	
		Morts	Blessés
Poza Rica, Mexique, 1950	Phosgène	10	–
Wilsum, Allemagne, 1952	Chlore	7	–
Seveso, Italie, 1976	Dioxine/ TCDD	–	–
Cartagena, Colombie, 1977	Ammoniac	30	25
Baltimore, Maryland, Etats-Unis, 1978	Dioxyde de soufre	–	100
Chicago, Illinois, Etats-Unis, 1978	Sulfure d'hydrogène	8	29
Bhopal, Inde, 1984	Isocyanate de méthyle	2 000	200 000

### 1.3. Système de prévention des risques d'accident majeur et d'intervention en cas d'accident

Dans la section 1.2, nous avons décrit les différents types d'accidents industriels qui peuvent se produire et qui conduisent à dégager la notion de «risque d'accident majeur» pour les activités exigeant des mesures de sécurité plus poussées que les opérations ordinaires en vue de protéger à la fois les travailleurs et les personnes qui se trouvent à l'extérieur des établissements ou des installations en cause. Ces mesures forment un tout, un système de sécurité visant, d'une part, à prévenir les accidents, d'autre part, à limiter les conséquences de ceux qui pourraient survenir néanmoins.

En raison de la complexité des activités en question, le dispositif de prévention et de protection doit être mis en place de façon systématique, selon le schéma suivant:

### **1. Identification des installations présentant des risques d'accident majeur**

Il est nécessaire de recenser les installations qui, d'après les critères établis, doivent être classées comme des installations présentant des risques d'accident majeur. Les autorités compétentes et les exploitants devraient organiser d'urgence ce recensement. On pourra suivre à cet effet les indications données au chapitre 2, lequel contient également une liste de base de vingt substances pour la détermination des installations dangereuses.

### **2. Rassemblement d'informations sur les installations**

Après l'identification des installations présentant des risques d'accident majeur, il convient de réunir toutes les informations utiles sur leurs caractéristiques et leur fonctionnement et sur tous les risques qu'elles peuvent comporter. Etant donné la fréquente complexité des installations, les informations devraient être recueillies et enregistrées de façon systématique. Elles devraient être accessibles à tous les intéressés dans la branche d'activité, notamment aux exploitants et aux travailleurs, et en dehors, par exemple aux administrations compétentes (pour l'octroi d'autorisations, aux fins d'inspection). Pour avoir un tableau complet des risques, il convient d'effectuer au besoin des études spéciales en vue de déceler les possibilités d'accident et d'établir des priorités pour l'évaluation des dangers. On peut se servir de méthodes de classement rapides pour déterminer les unités appelant un examen plus approfondi. Les éléments à étudier sont décrits dans la section 3.5. et à l'annexe 6 (rapports de sécurité). Une méthode de classement rapide des unités en fonction des risques est présentée à l'annexe 2.

### **3. Tâches des exploitants**

Les exploitants ont pour responsabilité primordiale de veiller à la sécurité des installations et des opérations, en appliquant une politique judicieuse de sécurité. Les inspections techniques, l'entretien, les modifications des installations, la sélection et la formation du personnel doivent être

convenablement organisés. Il a déjà été question de l'élaboration des rapports de sécurité; les exploitants doivent aussi mener des enquêtes en cas d'accident et soumettre les rapports d'enquête aux autorités compétentes. Il leur faut tirer les leçons des accidents et des événements dangereux. Les tâches des exploitants sont exposées de façon plus détaillée au chapitre 3.

### **4. Tâches des autorités compétentes**

Il appartient aux autorités compétentes de déterminer les risques que présentent les activités pour lesquelles elles sont appelées à délivrer des autorisations, d'assurer l'inspection et de veiller à l'application de la législation. L'établissement de plans d'occupation des sols peut réduire considérablement les risques de catastrophe. Autre tâche importante des pouvoirs publics: la formation des inspecteurs, notamment dans le domaine du génie chimique. Le rôle des autorités compétentes est exposé plus longuement au chapitre 4.

### **5. Etablissement de plans d'intervention en cas d'accident**

Toutes les mesures indiquées jusqu'ici sont axées sur la prévention des accidents majeurs; les plans d'intervention ont pour but, eux, d'atténuer les conséquences de tels accidents, dans l'idée qu'il n'est pas possible de garantir une sécurité absolue. On distingue les plans d'intervention à l'intérieur des installations et les plans d'intervention à l'extérieur. Fondés sur des rapports de sécurité soigneusement préparés, les plans doivent être bien structurés et clairs, et se prêter à une application rapide et efficace en cas d'accident. La question est traitée au chapitre 6.

#### **1.4. Activités non visées**

Ce manuel porte essentiellement sur les mesures à prendre contre les risques d'accident industriel majeur décrits dans la section 1.1, encore que certaines parties puissent s'appliquer à une gamme d'activités plus large. Il ne traite pas des mesures à arrêter pour le transport des produits chimiques dangereux, mesures fort différentes de celles qui visent les installations fixes. Le manuel ne traite pas non plus des risques nucléaires et des risques de nature strictement militaire, qui font généralement l'objet les uns et les autres de dispositions particulières.

## 2. Identification des installations présentant des risques d'accident majeur

L'action contre les risques d'accident majeur obéit à des critères de priorité qui peuvent être assez différents d'un pays à l'autre. Les ressources que les pouvoirs publics et les exploitants peuvent y consacrer sont le plus souvent limitées, et il faut donc que les efforts se concentrent sur les secteurs prioritaires. Il n'est pas question d'envisager tous les procédés industriels qui pourraient causer des accidents et faire des victimes: la liste en serait par trop longue, et nul pays, développé ou en développement, ne saurait qu'en faire.

Pour définir les installations présentant des risques d'accident majeur, on se fonde généralement sur une liste de produits dangereux donnant, pour chacun, la quantité à partir de laquelle le risque est réputé exister (quantité seuil). Cette liste permet de déterminer les installations sur lesquelles l'effort de sécurité doit porter prioritairement, parce qu'elles pourraient être le siège d'accidents graves de nature à menacer les personnes à l'intérieur et à l'extérieur de l'installation.

### 2.1. But et méthodes

L'identification des installations à hauts risques est le point de départ de l'organisation du système de sécurité. Une fois ces installations recensées, il est possible de mettre en place les différents éléments du système. L'opération montrera quels sont les produits dangereux qui se rencontrent le plus souvent en quantités entraînant un risque d'accident majeur et qui appellent, par conséquent, une action prioritaire (voir section 7.3). Saisies de demandes d'autorisation pour de nouvelles installations, les autorités compétentes (les services d'inspection) pourront requérir toutes les informations nécessaires pour pouvoir étudier ces demandes de manière approfondie (section 3.5). En même temps, on pourra mettre en train progressivement les mesures décrites dans les chapitres qui suivent (par exemple pour l'établissement des plans d'intervention en cas d'accident).

Le critère des produits mis en œuvre (assorti des quantités seuils) est celui qui a le plus de chances d'être retenu dans la plupart des pays pour définir les installations à hauts risques. La conduite

du recensement des installations selon ce critère dépend cependant des conditions locales (section 7.2). Elle pourra se faire sur la base de l'obligation légale, pour les exploitants, de déclarer les installations à hauts risques aux autorités compétentes, mais il peut exister d'autres méthodes de recensement, fondées par exemple sur les dossiers des services d'inspection.

À la lumière de l'expérience et du progrès des connaissances sur les risques et sur les cas d'accident, il pourra se révéler nécessaire de modifier la définition originelle des risques d'accident majeur (substances/quantités seuils).

### 2.2. La directive des Communautés européennes

À la suite de divers accidents graves survenus dans l'industrie chimique au cours des vingt dernières années, plusieurs pays d'Europe occidentale ont adopté des dispositions législatives sur les activités comportant des risques d'accident majeur. Ces dispositions obligeaient les exploitants à fournir des informations sur les installations à hauts risques en procédant à des études systématiques de sécurité. Après la catastrophe de Seveso (Italie) en 1976, les Communautés européennes ont fait la synthèse de cette réglementation et arrêté une directive (82/501/CEE, 24 juin 1982); cette directive – concernant les risques d'accident majeur de certaines activités industrielles – est en vigueur depuis 1984 et est souvent appelée "directive de Seveso".

Le texte des Communautés européennes vise les installations où sont mises en œuvre des substances dangereuses. Il emploie, pour définir ces substances, des critères qui se fondent sur leurs propriétés toxiques, inflammables, explosibles ou comburantes et qui sont indiqués ci-après au tableau 4.

Pour la notification des installations, la directive donne en outre une liste de 180 substances, reproduite plus loin à l'annexe 1. Quand ces substances sont présentes dans une installation (ou un ensemble d'installations du même exploitant séparées les unes des autres par une distance inférieure à 500 m) dans les quantités indiquées

dans la liste, l'exploitant doit communiquer une notification aux autorités compétentes, l'activité étant considérée comme présentant des risques d'accident majeur (les quantités indiquées vont de 1 kg pour les substances extrêmement toxiques à 50 000 t pour les substances inflammables). Pour les installations de stockage séparé, la directive donne une liste réduite de substances (avec les quantités seuils); on y trouve des produits tels que l'acrylonitrile, l'ammoniac, le chlore et le dioxyde de soufre, à côté de substances génériquement désignées (inflammables, explosibles, toxiques).

**Tableau 4. Substances dangereuses selon la directive des Communautés européennes**

*Substances toxiques et très toxiques:*

Substances caractérisées par les valeurs suivantes de toxicité aiguë et par des propriétés physiques et chimiques pouvant entraîner des risques d'accident majeur:

Dose létale médiane par voie orale (rat) mg/kg poids corporel	Dose létale médiane par voie cutanée (rat, lapin) mg/kg poids corporel	Concentration létale médiane par inhalation (4 h) (rat) mg/l sang
1. $DL^{50} \leq 5$	$DL^{50} \leq 10$	$CL^{50} \leq 0,1$
2. $5 < DL^{50} \leq 25$	$10 < DL^{50} \leq 50$	$0,1 < CL^{50} \leq 0,5$
3. $25 < DL^{50} \leq 200$	$50 < DL^{50} \leq 400$	$0,5 < CL^{50} \leq 2$

*Substances inflammables:*

1. Gaz inflammables: substances qui, à l'état gazeux à la pression normale et mélangées à l'air, deviennent inflammables et dont le point d'ébullition est égal ou inférieur à 20 °C à la pression normale.
2. Liquides hautement inflammables: substances dont le point d'éclair est inférieur à 21 °C et dont le point d'ébullition est supérieur à 20 °C à la pression normale.
3. Liquides inflammables: substances dont le point d'éclair est inférieur à 55 °C et qui restent à l'état liquide sous l'effet d'une pression, dans la mesure où certains modes de traitement tels que pression et température élevées peuvent entraîner des risques d'accident majeur.

*Substances explosibles:*

Substances qui peuvent exploser sous l'effet de la flamme ou qui sont plus sensibles aux chocs ou aux frottements que le dinitrobenzène.

*Substances comburantes:*

Substances qui, en contact avec d'autres, notamment avec des substances inflammables, présentent une réaction fortement exothermique.

### 2.3. Action prioritaire

Pour qu'un système de sécurité soit efficace, il faut qu'il soit applicable. Pour en faciliter l'application et encourager les autorités compétentes et les exploitants à le mettre en œuvre, il faut délimiter le champ d'action prioritaire et concentrer les efforts sur les installations les plus dangereuses.

Il y a plusieurs façons d'établir les priorités. On peut partir d'une liste de produits chimiques dangereux plus courte que celle qui apparaît dans la directive des Communautés européennes (annexe 1 de cet ouvrage). Le tableau 5 donne une telle liste.

D'après cette liste réduite, il est possible de recenser un certain nombre d'installations présentant des risques d'accident majeur. Si le nombre des installations est toujours trop grand au regard des moyens des services compétents, on peut déterminer un nouveau champ d'action prioritaire en relevant les quantités seuils indiquées.

On peut appliquer le même principe dans les entreprises pour déterminer les secteurs critiques, par exemple à l'aide d'une méthode de classement par degré de risque. En procédant à une inspection rapide des installations, on peut calculer des indices numériques (d'incendie et d'explosion, de toxicité) qui permettent de classer les secteurs dans différentes catégories, selon le degré de risque

**Tableau 5. Produits chimiques à considérer en priorité pour l'identification des installations présentant des risques d'accident majeur**

Dénomination	Quantité (≥)	N° dans la directive CE
<i>Substances inflammables en général:</i>		
Gaz inflammables	200 t	124
Liquides hautement inflammables	50 000 t	125
<i>Substances inflammables particulières:</i>		
Hydrogène	50 t	24
Oxyde d'éthylène	50 t	25
<i>Substances explosibles:</i>		
Nitrate d'ammonium	2 500 t	146 a
Nitroglycérine	10 t	132
Trinitrotoluène	50 t	145
<i>Substances toxiques:</i>		
Acrylonitrile	200 t	18
Ammoniac	500 t	22
Chlore	25 t	16
Dioxyde de soufre	250 t	148
Sulfure d'hydrogène	50 t	17
Cyanure d'hydrogène	20 t	19
Sulfure de carbone	200 t	20
Acide fluorhydrique	50 t	94
Acide chlorhydrique	250 t	149
Trioxyde de soufre	75 t	180
<i>Substances très toxiques:</i>		
Isocyanate de méthyle	150 kg	36
Dichlorure de carbonyle (phosgène)	750 kg	15



qu'ils présentent. Cette méthode, décrite à l'annexe 2, est assez complexe, et les résultats devraient être interprétés avec prudence.

#### **2.4. Principales installations présentant des risques d'accident majeur**

Vu la diversité et la complexité des activités industrielles, il n'est pas possible d'isoler certains secteurs et de dire que là se rencontrent les installations présentant des risques d'accident majeur. Toutefois, l'expérience montre que les

usines ou les installations à hauts risques sont principalement celles qui suivent:

- raffineries et usines pétrochimiques;
- usines chimiques;
- installations de stockage de gaz de pétrole liquéfié et terminaux;
- entrepôts et centres de distribution de produits chimiques;
- grands entrepôts d'engrais chimiques;
- fabriques d'explosifs;
- usines où le chlore est utilisé en grande quantité.



### 3. Rôle des exploitants

Les installations à hauts risques doivent être exploitées dans des conditions rigoureuses de sécurité. C'est là la responsabilité des exploitants. Ceux-ci ont un rôle extrêmement important à jouer dans l'organisation et la mise en œuvre du système de prévention et de protection. Il leur appartient en particulier:

- a) de fournir les informations nécessaires pour l'identification des installations présentant des risques d'accident majeur;
- b) de procéder à l'étude des dangers;
- c) de soumettre un rapport aux autorités compétentes sur les résultats de l'étude des dangers;
- d) d'établir un plan d'intervention en cas d'accident;
- e) de prendre toutes mesures utiles pour améliorer la sécurité des installations.

La figure 1 présente schématiquement le rôle des exploitants dans le système de prévention et de protection.

Le devoir primordial de l'exploitant, dans les installations susceptibles d'être le siège d'un accident majeur, est de s'attacher à maîtriser le risque. Pour cela, il faut qu'il connaisse la nature du risque, les événements qui pourraient provoquer un

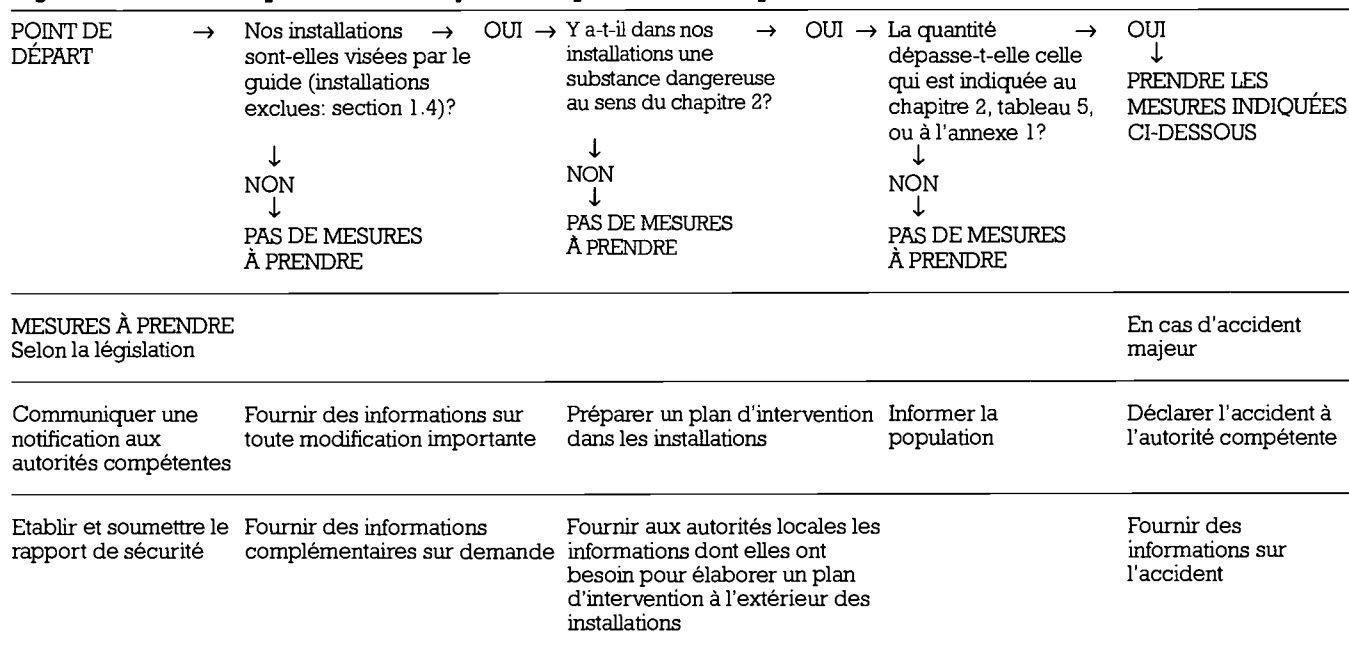
accident et les conséquences qu'un accident pourrait avoir. Pour pouvoir adopter des mesures efficaces, l'exploitant doit, en d'autres termes, chercher à répondre aux questions suivantes:

- a) Y a-t-il, dans les installations, des substances inflammables, explosives ou toxiques comportant un risque majeur?
- b) Quelles sont les défaillances ou les erreurs qui pourraient engendrer une situation anormale aboutissant à un accident majeur?
- c) En cas d'accident – incendie, explosion, dégagement de substances toxiques –, quelles seraient les conséquences pour les travailleurs, les personnes vivant au voisinage des installations, les installations elles-mêmes et l'environnement?
- d) Qu'est-il possible de faire pour prévenir un tel accident?
- e) Qu'est-il possible de faire pour atténuer les conséquences d'un éventuel accident?

#### 3.1. Etude des dangers

Pour répondre à ces questions, la meilleure méthode consiste à procéder à une étude des dangers; il s'agit de déterminer pourquoi des

**Figure 1. Rôle de l'exploitant dans le système de prévention et de protection**



accidents peuvent se produire et comment il est possible de les éviter ou du moins d'en atténuer les conséquences. Pour cela, il convient donc:

- a) d'analyser le système de sécurité en vigueur ou d'en élaborer un;
- b) de déterminer les risques qui peuvent subsister;
- c) de mettre au point des mesures optimales de protection technique et d'organisation de la sécurité en cas de fonctionnement anormal des installations.

On décrira ci-après différentes méthodes de diagnostic des dangers.

### 3.1.1. Méthodes de diagnostic

Pour que l'étude des dangers remplisse son but, il faut suivre certaines règles, utiliser certains instruments. Différentes méthodes ont été mises au point, qui sont indiquées au tableau 6.

On décrira ici deux de ces méthodes, qui se complètent l'une l'autre:

- l'étude préliminaire des dangers;
- l'étude systématique des dangers et des conditions de fonctionnement.

On dira aussi quelques mots de deux autres méthodes utilisées pour étudier la probabilité des accidents: l'analyse régressive du processus causal (arbre des causes) et l'analyse du déroulement des accidents (arbre des enchaînements), dont l'application, au demeurant, devrait être limitée à un petit nombre de cas particuliers.

La dernière étape est l'analyse des conséquences des éventuels accidents, sujet sur lequel se conclut cette section.

#### 3.1.1.1. Etude préliminaire des dangers

C'est la première étape du diagnostic.

Il s'agit de déterminer successivement:

- a) la nature des accidents susceptibles de se produire (accidents mettant en jeu des substances inflammables, explosives ou toxiques);
- b) les systèmes (éléments des installations: réservoirs de stockage, réacteurs, etc.) ou les événements (surremplissage d'un réservoir, emballement d'une réaction, etc.) qui peuvent être à l'origine d'une situation de risque;
- c) la nature des phénomènes qui peuvent entraîner l'accident (formation d'une atmosphère explosive à l'intérieur ou à l'extérieur d'un

**Tableau 6. Etude des dangers: méthodes**

Méthode	Objet	But	Moyens
1. Etude préliminaire des dangers 2. Matrices d'interactions 3. Listes de contrôle	1. Détermination des dangers	1. Adéquation du système de sécurité	1. Canevas logiques
4. Analyse des effets des défaillances 5. Etude systématique des dangers et des conditions de fonctionnement			2. Canevas d'investigation, diagrammes et schémas
6. Analyse du déroulement des accidents (inductive) 7. Analyse régressive du processus causal (déductive)	2. Détermination de la probabilité d'apparition des risques	2. Optimisation des systèmes de sécurité (disponibilité, fiabilité)	3. Arbre des enchaînements, arbre des causes, calcul des probabilités
8. Analyse des conséquences des accidents	3. Détermination des conséquences	3. Atténuation des conséquences, optimisation des plans d'intervention	4. Modèles mathématiques des processus physiques et chimiques

réservoir de stockage, dégagement de gaz toxique, etc.);

- d) les éléments précis des installations qui peuvent engendrer le phénomène (réservoirs de stockage, réacteurs, tuyauteries, pompes, agitateurs, soupapes, etc.); ces éléments feront l'objet d'un examen détaillé à l'aide d'autres méthodes, telles que l'étude systématique des dangers et des conditions de fonctionnement.

Les résultats de l'étude sont consignés sur une formule du type reproduit au tableau 7.

**Tableau 7. Etude préliminaire des dangers. Exemple: dépôt de gaz de pétrole liquéfié**

Type d'accident	Système	Phénomène/cause	Elément critique de l'installation
Explosion de vapeurs	Réservoir de stockage	Formation d'une atmosphère explosive à l'extérieur du réservoir;	Soupape de sûreté
		cause: - défaillance d'une soupape de sûreté	
		- corrosion du réservoir	
		- surpression	Manomètre, thermomètre, installation de pulvérisation, soupape de sûreté

L'étude préliminaire des dangers est une méthode rapide et efficace au regard de son coût, qui permet de déceler les principaux problèmes; c'est toujours par là que devrait commencer le diagnostic. L'étude montre quels sont les systèmes ou les opérations qui appellent un examen plus poussé, quels sont ceux qui ne présentent pas de caractère critique du point de vue des risques d'accident majeur. Il est ainsi possible de se concentrer sur les problèmes réellement importants et d'éviter tout travail inutile.

### 3.1.1.2. Etude systématique des dangers et des conditions de fonctionnement

Lorsqu'on a repéré, grâce à l'étude préliminaire, les systèmes ou les événements qui peuvent présenter ou engendrer un risque d'accident

majeur, il importe de déterminer les dysfonctionnements ou les incidents qui pourraient survenir et donner naissance au risque. Pour cela, il est indispensable d'étudier de façon très détaillée les systèmes en question et leur fonctionnement. C'est l'objet de l'étude systématique des dangers et des conditions de fonctionnement, dont une description plus complète est donnée à l'annexe 3 (méthode connue en anglais sous le nom de HAZOP: *Hazard and operability study*).

### Principe

La méthode consiste en une étude approfondie des opérations/installations (ou des parties d'opération/installation) reconnues comme critiques lors de l'étude préliminaire des dangers. Tous les éléments de l'opération/installation considérée font successivement l'objet d'une investigation systématique visant à déceler les déviations qui pourraient se produire par rapport au mode opératoire prévu et à déterminer si ces déviations pourraient engendrer une situation de risque.

Chaque élément est examiné en fonction d'une série d'hypothèses au moyen de mots-guides dérivés de l'étude des méthodes. L'emploi de ces mots-guides doit permettre d'envisager toutes les possibilités de déviation par rapport au mode opératoire prévu. On peut généralement mettre en évidence ainsi une série de dysfonctionnements ou d'incidents théoriquement possibles. On étudie alors chacun d'eux pour déterminer comment il pourrait se produire et quelles en seraient les conséquences.

La recherche des causes possibles de dysfonctionnement ou d'incident en fera peut-être apparaître certaines qui sont tout à fait improbables; on pourra alors s'arrêter là et ne pas en envisager les conséquences. De même, l'examen des conséquences des dysfonctionnements ou des incidents possibles en fera peut-être apparaître certaines qui sont négligeables et dont il n'y a pas lieu de s'inquiéter davantage. Restent les dysfonctionnements ou les incidents auxquels on peut trouver des causes d'un certain degré de probabilité et qui pourraient avoir des conséquences graves. On les relèvera en vue d'y remédier.

Les différents éléments de l'opération/installation sont ainsi examinés systématiquement les uns après

les autres, les possibilités de dysfonctionnement ou d'incident dangereux étant chaque fois notées, jusqu'à ce que l'ensemble de l'opération/installation ait été étudié.

Le but, en résumé, est de déterminer toutes les déviations qui pourraient se produire par rapport au mode opératoire prévu et tous les risques que ces déviations pourraient créer. Il est possible qu'on puisse écarter certains risques par des mesures qui s'imposent de façon évidente et qui ne sont pas de nature à poser des problèmes ailleurs; on pourra alors opérer les modifications nécessaires sur-le-champ. Cela n'est pas toujours possible, notamment quand il faut recueillir des données supplémentaires. C'est ainsi que l'étude a généralement pour résultats, d'une part, de provoquer des décisions, d'autre part, de soulever des questions qui devront recevoir une réponse ultérieurement.

### Un exemple simple

Pour illustrer la méthode, nous prendrons l'installation représentée à la figure 2. Il s'agit d'un réacteur chimique qui produit, à partir des substances A et B, le composé C. La quantité de substance B dans le réacteur ne doit jamais dépasser la quantité de substance A, au risque de provoquer une explosion. Nous examinerons le dispositif d'alimentation du réacteur en substance A: pompe, tuyauterie, robinet d'isolement.

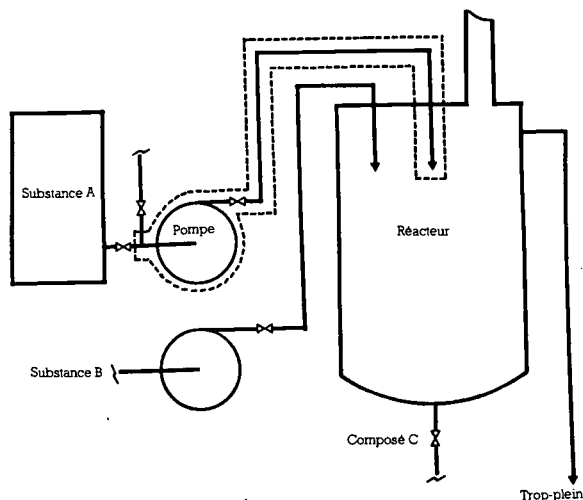
Le mode opératoire prévu indique comment le dispositif est censé fonctionner. Il peut être présenté de différentes façons, sous une forme descriptive ou graphique. Dans beaucoup de cas, ce sera un schéma de circulation ou de procédé. Dans notre exemple, le mode opératoire prévu est indiqué en partie par le schéma et en partie par les conditions de régulation du procédé: le dispositif doit alimenter le réacteur en substance A à un débit  $d$ .

La recherche des possibilités de dysfonctionnement ou d'incident s'effectue à l'aide des mots-guides (voir l'annexe 3 pour l'explication de ceux-ci), que l'on applique au mode opératoire prévu.

*Première possibilité: mot-guide NE PAS (PAS DE)*

Le dispositif **n'**alimente **pas** le réacteur en substance A.

**Figure 2. Etude des dangers et des conditions de fonctionnement. Exemple: schéma de l'installation**



Réaction:  $A + B = C$   
 La quantité de substance B ne doit pas dépasser la quantité de substance A dans le réacteur pour éviter une explosion. La partie de l'installation considérée (dispositif d'alimentation du réacteur en substance A) est entourée d'un trait interrompu-----.

On examine le schéma pour déterminer les causes qui pourraient provoquer l'arrêt complet de l'alimentation du réacteur en substance A. Ces causes pourraient être les suivantes:

- 1) le réservoir de substance A est vide;
- 2) la pompe ne fonctionne pas:
  - a) défaillance mécanique;
  - b) défaillance électrique;
  - c) pompe hors tension, etc.;
- 3) la tuyauterie est endommagée;
- 4) le robinet d'isolement est fermé.

Quelques-unes de ces causes au moins présentent un certain degré de probabilité: il s'agit donc de possibilités de dysfonctionnement à prendre en compte.

On en examine alors les conséquences. Un arrêt complet de l'alimentation en substance A entraînerait très vite un excès relatif de substance B dans le réacteur et, par conséquent, un risque d'explosion. On a ainsi décelé un risque dans l'installation, risque qu'il convient de noter pour étudier les dispositions à prendre.

*Deuxième possibilité: mot-guide PLUS (DAVANTAGE, SUPÉRIEUR)*

Le dispositif alimente le réacteur en substance A à un débit **supérieur** au débit *d*.

Cet incident pourrait se produire en raison des caractéristiques de la pompe, qui pourrait avoir, dans certaines conditions, un débit excessif.

Si cette cause présente un certain degré de probabilité, il faut examiner les conséquences de l'incident:

- 1) la réaction produit le composé C, additionné de l'excès de substance A, qui passe au stade suivant du processus;
- 2) le débit excessif d'alimentation va entraîner un écoulement de liquide hors du réacteur par le trop-plein.

Il faut alors recueillir des données supplémentaires pour déterminer si ces conséquences peuvent présenter un risque.

A l'aide d'autres mots-guides, on procédera à un inventaire complet des possibilités de dysfonctionnement du dispositif d'alimentation. On passera alors à l'élément suivant de l'installation et on fera de même pour tous les autres éléments de celle-ci.

### 3.1.1.3. Autres méthodes

Il existe des méthodes qui permettent de calculer la probabilité des accidents et le degré de risque que présentent les installations. Ce sont en particulier l'analyse régressive du processus causal (qui consiste à remonter la chaîne des causes d'un accident) et l'analyse du déroulement des accidents (qui consiste à suivre l'enchaînement des événements conduisant à l'accident). Ces méthodes s'appuient sur une description graphique qui peut prendre la forme d'un arbre des causes ou d'un arbre des enchaînements et comportent l'analyse mathématique des accidents (voir bibliographie: Lambert, 1973; Fussell, 1976; Henley et Kumamoto, 1981).

Employées pour déterminer la fiabilité des systèmes électroniques, ces méthodes sont aussi très largement utilisées dans l'industrie nucléaire. Ce sont des méthodes assez lourdes, qui ne se prêtent pas au diagnostic général des risques

d'accident majeur. On en trouvera une description détaillée dans les publications citées ci-dessus pour le cas où l'on aurait à les appliquer pour certaines opérations.

### 3.1.1.4. Analyse des conséquences des accidents

L'étude des dangers n'est complète qu'après la détermination des conséquences des accidents qui pourraient se produire. La dernière phase du diagnostic consiste donc à analyser les conséquences que les éventuels accidents pourraient avoir pour les installations, pour le personnel, pour le voisinage et pour l'environnement. Les résultats de l'analyse serviront à déterminer les dispositifs de protection à mettre en place (systèmes d'alarme, de lutte contre le feu, de décompression, etc.).

L'analyse des conséquences des accidents devrait comprendre:

- a) la description de l'accident (rupture d'un réservoir, éclatement d'une tuyauterie, défaillance d'une soupape de sûreté, incendie);
- b) l'estimation de la quantité de substance (*inflammable, explosive, toxique*) libérée;
- c) le calcul de la dispersion de la substance libérée (gaz ou liquide qui s'évapore);
- d) l'estimation des effets (rayonnement thermique, onde de choc, effets toxiques).

Il est possible de tirer les éléments *a*) et *b*) de l'étude des dangers; pour déterminer les éléments *c*) et *d*), il faut avoir recours à des modèles (voir annexe 4).

## 3.2. Les causes des accidents majeurs

L'opération de diagnostic décrite dans la section 3.1 aura pour résultat de faire apparaître un certain nombre de possibilités de dysfonctionnement et d'incident dans les installations et alentour. Ces possibilités déterminées, il appartient à l'exploitant de décider s'il y a lieu de prendre des mesures pour y faire face.

A l'intention des exploitants précisément, les sections qui suivent donnent un aperçu des principaux types de défaillances ou d'incidents et indiquent les règles de prévention à appliquer.

### 3.2.1. Défaillances des installations

Pour garantir la sûreté de fonctionnement des installations, il faut que tous les éléments de celles-ci puissent résister aux efforts et aux conditions auxquels ils seront soumis et empêcher ainsi le dégagement de substances potentiellement dangereuses.

Parmi les causes d'accident, on peut citer celles qui suivent:

- défaut de conception par rapport aux conditions d'exploitation (contraintes extérieures, pressions, températures, corrosion, etc.);
- dégradation mécanique des réservoirs et des tuyauteries due à la corrosion ou à des chocs extérieurs;
- défaillance des machines et appareils (pompes, compresseurs, soufflantes, agitateurs, etc.);
- défaillance des systèmes de commande et de régulation (capteurs de pression et de température, régulateurs de niveau, débitmètres, unités de commande, ordinateurs de processus);
- défaillance des systèmes de sécurité (dispositifs de décompression (soupapes de sûreté, disques de rupture), systèmes de neutralisation, torchères);
- défaillance des assemblages (soudures, raccords, etc.).

Chacune de ces défaillances peut entraîner un accident majeur. Si un diagnostic des dangers est fait au stade de l'étude des installations, il appartient à l'exploitant de déterminer les défaillances contre lesquelles il y a lieu de prendre des mesures de sécurité supplémentaires et les points où il convient de modifier ou d'améliorer la conception des installations.

### 3.2.2. Déviations par rapport aux conditions normales d'exploitation

On peut éviter les défaillances des éléments matériels en étudiant bien les installations et en assurant un bon entretien. La prévention des dysfonctionnements et des incidents d'exploitation nécessite, elle, une étude approfondie des modes opératoires.

Les défaillances suivantes peuvent entraîner des déviations par rapport aux conditions normales d'exploitation:

- défaillance du système de surveillance et de traitement des paramètres critiques (pressions, températures, débits, quantités, dosage des mélanges);
- défaillance de l'alimentation manuelle en produits chimiques;
- défaillance de l'alimentation en énergie ou en fluides d'exploitation; alimentation insuffisante ou interrompue en:
  - réfrigérant (pour les réactions exothermiques);
  - vapeur ou fluide calorifique;
  - électricité;
  - azote;
  - air comprimé;
- incident dans les procédures de mise en marche ou de mise à l'arrêt des installations (qui risque d'entraîner par exemple la formation d'une atmosphère explosive);
- formation de sous-produits, de résidus ou d'impuretés pouvant provoquer des réactions secondaires (polymérisation par exemple).

Pour déterminer les conséquences de ces défaillances, il est nécessaire d'examiner le comportement de l'ensemble du système au cas elles se produiraient. On peut s'attacher à les prévenir en mettant au point un système sûr de commande et de régulation (automatique ou manuel), en étudiant très soigneusement les modes opératoires et en établissant un programme approprié d'inspection et de contrôle.

### 3.2.3. Erreurs humaines, défauts d'organisation

L'aptitude du personnel à conduire les installations revêt une importance fondamentale, non seulement dans celles qui exigent de nombreuses interventions manuelles, mais aussi dans les installations automatisées où l'intervention humaine n'est requise qu'en cas de situation critique.

Les erreurs que le personnel d'exploitation peut commettre sont aussi diverses que les tâches qu'il



est appelé à remplir. Voici quelques-unes des plus courantes:

- erreurs de manœuvre (actionnement d'un mauvais bouton, d'une mauvaise vanne);
- neutralisation des systèmes de sécurité (à cause de fréquentes fausses alertes);
- confusion de produits dangereux (absence de contrôle de la nature des substances);
- erreurs de communication;
- erreurs de réparation ou d'entretien;
- travaux de soudage non autorisés.

Ces erreurs peuvent se produire parce que le personnel n'est pas conscient des risques, qu'il n'a pas une formation suffisante pour son travail ou qu'il est surchargé.

Il est indispensable, pour prévenir les erreurs humaines et les problèmes d'organisation, de sélectionner avec soin le personnel, d'assurer une formation régulière et d'établir des consignes de travail claires et précises; ce sont là des tâches extrêmement importantes de l'administration du personnel dans les installations à hauts risques.

### 3.2.4. Accidents extérieurs

La cause des accidents majeurs peut se trouver, non dans les installations elles-mêmes et leur exploitation, mais dans des événements extérieurs tels que:

- les accidents routiers ou ferroviaires (notamment dans le transport de produits dangereux);
- les accidents maritimes ou fluviaux;
- les accidents aériens;
- les accidents aux postes de chargement de substances inflammables ou explosives;
- les accidents dans des installations voisines, en particulier celles où des substances inflammables ou explosives sont mises en œuvre;
- les impacts mécaniques (renversement d'une grue par exemple).

Il n'est pas toujours possible d'empêcher les accidents de ce genre, et il convient de les prendre

en considération pour l'implantation des installations et dans la conception des éléments particulièrement vulnérables de celles-ci.

### 3.2.5. Phénomènes naturels

Ce sont aussi les phénomènes naturels qui peuvent engendrer des risques dans les installations, notamment:

- le vent;
- le froid;
- le rayonnement solaire;
- la foudre;
- les inondations;
- les séismes;
- les mouvements de terrain.

Si de tels risques existent dans l'environnement naturel des installations, il convient de prendre les mesures de sécurité nécessaires.

### 3.2.6. Actes de malveillance ou de sabotage

Les installations à hauts risques peuvent devenir la cible d'actes de malveillance ou de sabotage de membres du personnel ou d'individus de l'extérieur. Il est difficile de se protéger contre ces actes, et la protection n'est jamais parfaite. Il faut cependant en tenir compte lors de l'étude des installations.

### 3.2.7. Autres types de défaillances ou d'incidents

On trouvera des indications sur les autres types de défaillances ou d'incidents pouvant provoquer des accidents majeurs dans les listes de contrôle établies à cet effet (voir American Institute of Chemical Engineers, 1985).

## 3.3. La sûreté d'exploitation des installations présentant des risques d'accident majeur

On a traité dans les sections qui précèdent de l'étude des dangers et des causes des accidents majeurs. Il convient de voir maintenant comment s'attacher à maîtriser les risques. On examinera donc, dans cette section, les principales dispositions généralement prises, sur le plan des mesures de

sécurité et de l'organisation de l'exploitation, pour prévenir les risques d'accident majeur. Un exposé plus détaillé des mesures de sécurité applicables aux installations de gaz de pétrole liquéfiés, de chlore et d'ammoniac figure à l'annexe 5.

### 3.3.1. Conception des installations

Il importe d'étudier avec soin tous les éléments des installations, pour prévenir les accidents que les erreurs de conception peuvent entraîner, en tenant compte des efforts et des conditions auxquels ils doivent résister :

- efforts statiques;
- efforts dynamiques;
- pressions intérieures et extérieures;
- corrosion;
- chocs thermiques;
- phénomènes extérieurs (vent, neige, séismes, mouvements du sol).

Ces efforts et ces conditions ne sont pas nécessairement prévus de façon appropriée dans les normes agréées de construction, qu'il faut donc considérer, pour les installations à hauts risques, uniquement comme des exigences minimales. Cela vaut particulièrement pour les systèmes renfermant des substances inflammables, explosives ou toxiques sous pression (à l'état gazeux ou à l'état liquide à une température supérieure au point d'ébullition).

### 3.3.2. Commande et régulation des installations

La conception des installations devrait leur permettre de résister à tous les efforts ou conditions auxquels elles risquent d'être soumises en service normal ou dans les situations anormales prévues. A partir de là, il s'agit de maintenir les installations dans les limites de sécurité, grâce à des systèmes tels que :

- les systèmes de régulation manuelle;
- les systèmes de régulation automatique;
- les systèmes d'arrêt automatique;
- les dispositifs de sécurité;
- les systèmes d'alarme.

Le principe fondamental de la sécurité d'exploitation est que le fonctionnement des installations et le déroulement des processus doivent toujours rester sûrs.

La figure 3 montre comment un système de régulation peut maintenir les paramètres d'un processus dans les limites de sécurité lorsqu'ils s'écartent des valeurs normales. Les paramètres surveillés peuvent être la température, la pression, le débit, le dosage de certains mélanges, etc.

Les trois systèmes de surveillance ou de protection agissent de la façon suivante :

#### Premier système

Dès que la valeur du paramètre dépasse la valeur limite prévue, le système de surveillance le signale, et une mesure correctrice (généralement manuelle) est prise. Si, même au cas où cette mesure serait inopérante, le phénomène ne peut pas entraîner de risque d'accident, il n'y a pas lieu de prévoir un système complémentaire.

#### Deuxième système

Lorsque la valeur du paramètre dépasse la valeur limite, le système de régulation déclenche une action automatique pour ramener le paramètre aux valeurs normales. Si le système est inopérant et que le phénomène puisse, quand la valeur critique est atteinte, entraîner un risque d'accident, il faut prévoir d'autres dispositifs de sécurité : disques de rupture, soupapes de sûreté, dispositifs de trop-plein, système de refroidissement, etc.

#### Troisième système

Si l'on ne peut mettre en œuvre des dispositifs de ce genre ou si, en cas de dépassement de la valeur critique, le phénomène risque d'entraîner un accident majeur, il est nécessaire d'installer un système de régulation indépendant qui déclenche automatiquement une action correctrice quand la valeur critique est atteinte. Prenons comme exemple un processus chimique où, au-delà d'une certaine valeur, l'élévation de la température peut entraîner l'emballement d'une réaction; dès que la température critique est atteinte, le système actionnera un dispositif de refroidissement et introduira un produit arrêtant la réaction.

Pour appliquer ce type de régulation, il faut surveiller les paramètres du processus et surveiller

aussi les éléments actifs de l'installation (pompes, compresseurs, etc.) afin de détecter toute situation dangereuse (telle qu'une hausse excessive de la pression) et tout dysfonctionnement.

Pour que le personnel d'exploitation n'ait pas à s'en remettre entièrement au bon fonctionnement de systèmes automatiques, il convient de combiner ceux-ci avec des dispositifs d'alarme acoustiques ou optiques. En outre, le personnel devrait recevoir une formation appropriée sur le fonctionnement et l'importance des systèmes de régulation.

Il faut savoir enfin que, dans certaines situations, le fonctionnement de ces systèmes peut présenter des problèmes; c'est le cas notamment dans les phases de fonctionnement en régime transitoire (démarrage, arrêt), qui exigent une attention particulière.

### 3.3.3. Systèmes de sécurité

Les installations à hauts risques peuvent être équipées de différents systèmes de sécurité. La nature et la conception de ces systèmes dépendent des risques que présente l'installation. On en donnera ci-après un aperçu en indiquant leur rôle.

#### 3.3.3.1. Systèmes visant à prévenir les déviations par rapport aux conditions d'exploitation admissibles

##### Dispositifs de décompression

Ce sont principalement les soupapes de sûreté et les disques de rupture.

Ces dispositifs peuvent dégager des substances dans l'atmosphère.

Si la substance forme un mélange explosif avec l'air, il faut veiller à ce que ce mélange ne puisse entrer en contact avec une source d'inflammation avant de s'être dilué et d'être tombé au-dessous de la limite d'explosibilité inférieure.

Si la substance est toxique, il convient de la canaliser dans un système secondaire (système de purge, laveur de gaz, torchère) et de ne pas la laisser passer dans l'atmosphère.

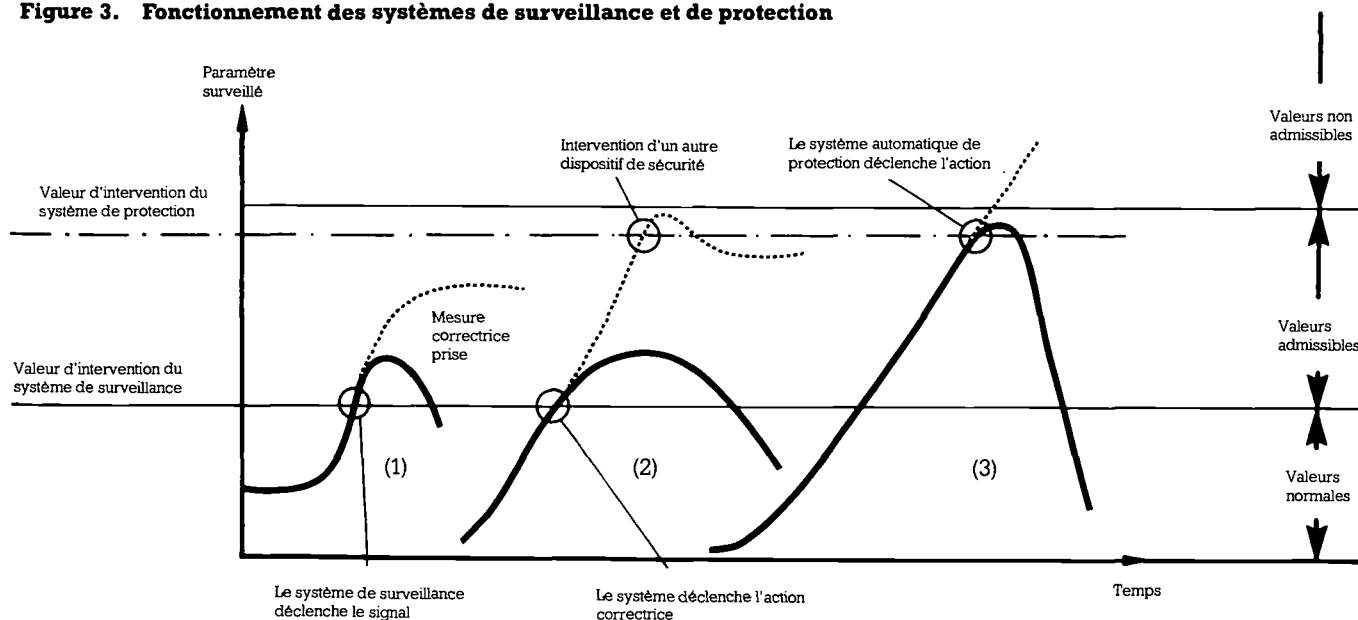
##### Capteurs de température, de pression, de débit

Insérés dans le processus, ces capteurs déclenchent des actions correctrices telles que le refroidissement des installations, l'introduction de produits arrêtant les réactions chimiques ou l'ouverture de circuits de dérivation.

##### Dispositifs visant à prévenir les débordements

Ces dispositifs préviennent le remplissage excessif des réservoirs en commandant l'arrêt par dérivation de l'écoulement.

Figure 3. Fonctionnement des systèmes de surveillance et de protection



### Dispositifs d'arrêt en cas d'urgence

Il s'agit de dispositifs qui arrêtent les installations ou les processus (en commandant par exemple l'arrêt de pompes ou de compresseurs, la fermeture ou l'ouverture de vannes) afin de garantir la sécurité. Ces dispositifs peuvent être actionnés automatiquement ou manuellement.

#### 3.3.3.2. Systèmes visant à prévenir les défaillances des éléments critiques des installations

Ces systèmes visent à accroître la fiabilité des éléments des installations critiques du point de vue de la sécurité. Si les exigences de la sécurité le requièrent, on pourra, soit prévoir dans l'installation différents systèmes capables de remplir la fonction critique (principe de la diversification), soit doubler les éléments critiques, par exemple en installant, à côté d'une pompe de réfrigération, une deuxième pompe (principe de la redondance).

#### 3.3.3.3. Systèmes visant à assurer l'alimentation en énergie et en fluides d'exploitation

Pour assurer une alimentation sûre en énergie ou en fluides d'exploitation là où la sécurité en dépend (alimentation en électricité ou en air comprimé des systèmes de commande et de régulation, en azote des installations à atmosphère inerte), il peut être nécessaire de prévoir une source d'alimentation auxiliaire, par exemple une batterie d'accumulateurs, un réservoir d'air comprimé ou une batterie de bouteilles d'azote, en cas de défaillance du système principal.

#### 3.3.3.4. Systèmes d'alarme

Il s'agit de systèmes déclenchés par des détecteurs qui permettent au personnel de déterminer les causes d'un mauvais fonctionnement dès que celui-ci se produit. Ces systèmes peuvent remplir différentes fonctions:

- surveiller les paramètres du processus (températures, pressions, débits, quantités, niveaux, dosage des mélanges, teneur en oxygène);
- détecter les défaillances des éléments critiques de l'installation (pompes, compresseurs, agitateurs, soufflantes);

- détecter les fuites (détecteurs de gaz, explosimètres);
- détecter les incendies ou les fumées;
- détecter les défaillances des dispositifs de sécurité.

#### 3.3.3.5. Dispositifs de protection

En plus des systèmes visant à maintenir les installations dans leur état de fonctionnement normal et sûr, on peut mettre en place des dispositifs de protection en vue de limiter les conséquences des éventuels incidents:

- systèmes de pulvérisation d'eau (pour refroidir les réservoirs ou combattre les incendies);
- jets d'eau;
- systèmes de projection de vapeur;
- cuvettes de rétention.

#### 3.3.3.6. Mesures visant à atténuer les conséquences des accidents

Pour atténuer les conséquences des éventuels accidents, il importe d'étudier et de prendre des mesures appropriées; ces mesures sont décrites dans la section 3.4.

#### 3.3.3.7. Prévention des erreurs humaines et des défauts d'organisation

Comme on l'a vu plus haut (3.2.3), les erreurs humaines peuvent être à l'origine d'accidents majeurs, et leur prévention doit avoir une place importante dans l'organisation de la sécurité. Il est possible de prendre dans ce sens les mesures suivantes:

- différenciation des raccords sur les tuyaux dans les postes de chargement et de déchargement pour éviter le mélange de substances réagissant ensemble (par exemple l'acide sulfurique et l'acide nitrique);
- application de règles précises d'étiquetage, de conditionnement, d'inspection et d'analyse à la réception pour prévenir la confusion de différentes substances;
- installation de dispositifs de verrouillage (interdisant l'actionnement simultané de vannes ou d'interrupteurs qui ne doivent pas être manœuvrés en même temps);

- marquage clair des interrupteurs, des boutons-poussoirs et des affichages sur les tableaux de commande;
- mise en œuvre de moyens de communication appropriés pour le personnel d'exploitation;
- mesures de protection contre l'actionnement accidentel des commandes;
- formation du personnel.

### 3.3.4. Entretien et surveillance des installations

La sécurité des installations et le bon fonctionnement des éléments critiques de ce point de vue dépendent directement de la qualité de l'entretien et de la surveillance. Il est donc primordial d'établir un programme d'entretien et de surveillance comprenant les opérations suivantes:

- a) contrôle des conditions d'exploitation importantes pour la sécurité, dans les salles de commande comme dans les installations elles-mêmes;
- b) contrôle des éléments des installations importants pour la sécurité, par exemple par inspection visuelle ou par surveillance à distance;
- c) contrôle des systèmes d'alimentation en énergie et en fluides d'exploitation (électricité, air comprimé, vapeur, réfrigérant, etc.);
- d) établissement d'un plan et d'une documentation d'entretien (calendrier des interventions, nature des travaux à effectuer).

Le programme d'entretien et de surveillance doit préciser les qualifications et l'expérience que doit posséder le personnel concerné.

### 3.3.5. Inspection et réparations

Il est nécessaire d'établir un plan d'inspection des installations fixant le calendrier des inspections et les précautions d'exploitation à observer pendant celles-ci.

Les réparations peuvent engendrer d'importants risques d'accident. Il convient donc de formuler des règles strictes pour leur exécution (par exemple pour les travaux de soudage sur des éléments contenant des substances inflammables). Ces règles devraient préciser notamment les

précautions d'exploitation à observer (arrêt préalable de l'installation, nettoyage préalable des réservoirs), les qualifications que doit posséder le personnel, les exigences auxquelles le travail doit satisfaire et le contrôle dont il doit faire l'objet. En raison de l'importance de la question, de nombreux exploitants ne se contentent pas d'observer les prescriptions nationales, mais établissent leurs propres normes.

### 3.3.6. Formation

Extrêmement importantes pour la sécurité, les mesures techniques ne sont pas tout, aucune installation n'étant conçue pour fonctionner sans intervention humaine. L'homme peut avoir aussi bien une influence négative qu'une influence positive sur la sécurité: il faut s'attacher à réduire la première et à favoriser la seconde. Ces deux objectifs peuvent être atteints grâce à une bonne sélection du personnel et à une bonne formation, formation qui devrait porter notamment sur les points suivants:

- dangers que présentent les processus ou les substances mis en œuvre;
- conditions d'exploitation prévues (en fonctionnement normal et en régime transitoire: mise en marche et arrêt des installations);
- comportement à observer en cas de dysfonctionnement ou d'accident;
- expérience acquise ailleurs dans des installations semblables, accidents ou incidents graves qui ont pu survenir.

## 3.4. Atténuation des conséquences des accidents

Les installations à hauts risques ne peuvent jamais être rendues absolument sûres. On peut fort bien procéder à l'étude des dangers et prendre des mesures efficaces pour y faire face: on ne saurait écarter complètement la possibilité d'un accident. C'est pourquoi il est indispensable d'étudier et de prendre, dans le cadre du système de sécurité, des dispositions pour limiter les conséquences d'un éventuel accident.

On a déjà mentionné une série de mesures intéressant les installations (3.3.3). À côté de cela, le principal problème est de lutter contre le possible dégagement de substances dangereuses. Pour

pouvoir agir en cas d'accident, l'exploitant doit prendre des dispositions appropriées; on mentionnera notamment celles qui suivent:

- a) constituer une équipe de lutte contre l'incendie (personnel à plein temps ou volontaires) et assurer son entraînement;
- b) installer des systèmes d'alarme comportant une liaison directe avec l'équipe de lutte contre l'incendie ou les services publics d'intervention;
- c) élaborer un plan d'intervention contenant les indications suivantes:
  - schéma d'organisation de l'intervention;
  - moyens d'alarme et de communication;
  - consignes d'intervention;
  - information sur les substances dangereuses;
  - exemples d'enchaînements d'événements possibles (le chapitre 6 contient un exposé détaillé des dispositions à prévoir dans les plans d'intervention à l'intérieur des installations);
- d) organiser avec les autorités la coordination avec les plans d'intervention de celles-ci;
- e) en cas d'accident, informer les autorités de la nature et de l'étendue du risque;
- f) constituer un stock d'antidote pour le cas de dégagement toxique (il est plus probable au demeurant que l'antidote sera fourni, le cas échéant, par les services médicaux locaux).

Toutes ces mesures doivent être adaptées aux dangers diagnostiqués. Elles doivent être accompagnées d'une formation appropriée du personnel d'exploitation, des équipes d'intervention et des responsables des services publics. Seuls la formation et les exercices de sécurité dans des situations simulées d'accident permettent de roder les plans d'intervention et d'être assuré d'agir efficacement au cas où un accident se produirait réellement.

### 3.5. Rapports aux autorités compétentes

Il est vraisemblable que les exploitants d'installations à hauts risques seront soumis, conformément aux dispositions en vigueur dans le

pays, à certaines obligations de déclaration ou de notification aux autorités compétentes. On peut prévoir trois types de déclarations:

- a) notification de l'installation (identification des installations présentant des risques d'accident majeur);
- b) soumission d'un rapport de sécurité;
- c) déclaration immédiate des accidents.

Les paragraphes qui suivent présentent les éléments d'un système général de rapports. Il appartient aux autorités compétentes de chaque pays de déterminer l'étendue des informations dont elles ont besoin pour remplir le rôle exposé au chapitre 4.

#### 3.5.1. But

Le classement d'une installation dans la catégorie des installations à hauts risques dépend de la nature des substances mises en œuvre, produites, stockées ou manutentionnées et de la quantité de ces substances. Il est nécessaire que les exploitants informent l'autorité compétente de la présence, dans les installations, de produits chimiques dangereux en quantité égale ou supérieure à la quantité spécifiée pour l'identification des installations présentant des risques d'accident majeur, installations soumises, comme telles, aux mesures de sécurité spéciales décrites dans ce manuel. C'est la première démarche.

La deuxième est la soumission d'un rapport de sécurité. Le but est de décrire l'ensemble du système de sécurité et de permettre à l'autorité compétente:

- a) de vérifier si l'installation répond aux normes de sécurité auxquelles elle doit satisfaire pour l'octroi de l'autorisation d'exploitation;
- b) d'effectuer une inspection pour constater les dangers que l'installation présente;
- c) de prendre sa décision au sujet de l'implantation de l'installation (installations nouvelles);
- d) d'établir un plan d'intervention en cas d'accident.

Enfin, si un accident se produit, l'exploitant devra le déclarer sans délai à l'autorité compétente. Il devra, s'il y a lieu, aviser les services appelés à

intervenir à l'extérieur des installations, avec lesquels il est essentiel alors qu'il prenne contact immédiatement.

### 3.5.2. Informations à fournir

#### 3.5.2.1. Notification (identification des installations présentant des risques d'accident majeur)

Les informations suivantes sont nécessaires pour l'identification des installations à hauts risques:

- a) exploitant;
- b) caractéristiques générales de l'installation;
- c) autorisations obtenues;
- d) produits dangereux: désignation, quantités, état physique.

#### 3.5.2.2. Rapport de sécurité

Si une installation est classée dans la catégorie des installations présentant des risques d'accident majeur selon les critères indiqués au chapitre 2, l'exploitant devrait soumettre aux autorités compétentes un rapport de sécurité concernant l'installation et les risques qu'elle comporte; ce rapport devrait:

- a) indiquer la nature des produits dangereux mis en œuvre dans l'installation et les quantités utilisées;
- b) indiquer les dispositions prises pour assurer la sûreté d'exploitation, pour prévenir ou corriger toute déviation par rapport aux modes opératoires prévus qui est de nature à provoquer un accident majeur et pour faire face à toute situation critique dans le périmètre de l'installation;
- c) indiquer la nature des accidents majeurs qui pourraient se produire, leur degré de probabilité et les conséquences qu'ils auraient;
- d) établir que l'exploitant connaît précisément les risques d'accident majeur que comporte son activité et qu'il a pris les mesures de sécurité appropriées.

Par là, le rapport aidera les autorités comme l'exploitant à déterminer correctement la sûreté de l'installation.

Pour remplir son but, le rapport de sécurité doit, d'une part, fournir des informations précises sur les installations, les processus techniques et les lieux circonvoisins, d'autre part, comporter une étude des dangers qui permet de connaître la nature des accidents majeurs qui pourraient se produire, leur degré de probabilité et leur importance, comme les moyens à mettre en œuvre pour en prévenir les risques ou en limiter les conséquences.

Le rapport de sécurité, dont on trouvera un exemple à l'annexe 6, devrait ainsi contenir les informations suivantes:

#### A. Description de l'installation et des procédés techniques

##### 1. Installation

- a) implantation géographique:
  - plans de l'installation;
  - zones circonvoisines (usines, voies publiques, bâtiments, hôpitaux, écoles, etc.);
- b) construction:
  - matériaux (seulement ceux qui ont une importance du point de vue de la sécurité);
  - spécifications techniques (pressions, températures, capacités)
  - fondations (stabilité);
- c) zones de protection (protection contre les explosions, distances de sécurité);
- d) voies de circulation:
  - voies d'évacuation;
  - voies de circulation pour les services d'intervention en cas d'accident.

##### 2. Procédés techniques

- a) fonction technique de l'installation;
- b) caractéristiques générales:
  - opérations fondamentales;
  - réactions physiques et chimiques;
  - dispositifs de stockage dans l'installation;

- traitement des déchets (évacuation, conservation sur place, recyclage, élimination);
- évacuation ou traitement des effluents gazeux;
- c) paramètres d'exploitation: description des différentes phases des procédés, avec les paramètres importants pour la sécurité (pressions, températures);
- d) description des procédés, de préférence à l'aide de schémas et de diagrammes renseignant sur:
  - les appareils et les équipements techniques;
  - les systèmes d'alimentation en énergie et en fluides d'exploitation;
  - les conditions caractéristiques d'exploitation;
  - les caractéristiques des réservoirs et des tuyauteries contenant des substances dangereuses;
  - les systèmes de commande et de régulation;
- e) description des dispositifs d'alimentation en énergie et en fluides d'exploitation intéressant la sécurité (électricité, air comprimé, vapeur, réfrigérants, gaz inerte) et, s'il y a lieu, des dispositifs de secours.

## B. Description des produits dangereux

1. Produits
  - a) phases des procédés au cours desquels les produits sont (ou peuvent être) présents;
  - b) quantités;
  - c) propriétés physiques et chimiques;
  - d) données intéressant la sécurité (limites d'explosibilité, point d'éclair, stabilité thermique);
  - e) données toxicologiques (toxicité, effets, perception olfactive);

f) valeurs critiques (limites d'exposition, concentrations létales).

2. Forme des produits: forme sous laquelle les produits peuvent être présents ou transformations qu'ils peuvent subir en cas de conditions anormales.

## C. Etude préliminaire des dangers

A partir de la description de l'installation et des procédés techniques doublée de celle des produits dangereux, il est possible de mettre en évidence les risques d'accident et de déterminer les éléments de l'installation, les mesures de sécurité ou les interventions humaines auxquels il y a lieu de prêter une attention particulière. C'est ce que permet de faire l'étude préliminaire des dangers (voir 3.1.1.1).

Cette étude conduit à établir une liste des éléments de l'installation, des systèmes de sécurité et des opérations qui pourraient jouer un rôle dans la genèse d'un accident majeur: on les appellera les «éléments critiques»

## D. Description des éléments critiques

Il est nécessaire de donner une description plus détaillée des éléments critiques mis en évidence par l'étude préliminaire en vue de l'évaluation des risques pour laquelle il faut avoir les informations suivantes:

- a) fonction;
- b) nature et importance des efforts et des contraintes;
- c) importance du point de vue de la sécurité;
- d) critères de conception particuliers;
- e) systèmes de commande et de régulation, systèmes d'alarme;
- f) dispositifs de décompression;
- g) dispositifs spéciaux de régulation des fluides;
- h) installations de rétention, cuves pour vidange rapide;
- i) systèmes de pulvérisation d'eau;
- j) protection contre l'incendie.



## E. Evaluation des risques

La phase suivante est l'évaluation des risques, à partir des éléments apportés par l'étude préliminaire et de toutes les informations données sur l'installation dans les sections descriptives du rapport de sécurité. Pour faciliter l'évaluation, ce guide fournit les instruments suivants:

- les méthodes de diagnostic décrites dans la section 3.1.1;
- la liste des grandes causes d'accident donnée dans la section 3.2;
- la description des systèmes de sécurité donnée dans la section 3.3.3.

On exploitera en outre les enseignements susceptibles d'être tirés de l'analyse des accidents qui auraient pu survenir soit dans l'installation, soit dans d'autres installations semblables.

Il est recommandé de procéder à une étude systématique des dangers et des conditions de fonctionnement selon la méthode exposée dans la section 3.1.1.2 et de donner toutes informations utiles à ce sujet dans le rapport de sécurité. On trouvera une description complète de la méthode à l'annexe 3.

Si le diagnostic met en évidence des éléments particulièrement délicats (dispositifs de sécurité, dispositifs de commande et de régulation, interventions du personnel d'exploitation), il convient de procéder sur ces éléments à une étude de fiabilité, qui montrera si des précautions suffisantes ont été prises pour prévenir les accidents. Si tel n'est pas le cas, il faudra s'attacher à améliorer la sûreté de ces éléments.

## F. Organisation

Il importe de prendre en considération, pour l'évaluation globale de la sûreté des installations, les dispositions adoptées sur le plan de l'organisation de l'exploitation. Le rapport devrait contenir des informations sur:

- a) les programmes d'entretien et d'inspection;
- b) les directives pour la formation du personnel;
- c) l'attribution et la délégation des responsabilités pour la sécurité;
- d) la mise en œuvre des procédures de sécurité.

## G. Evaluation des conséquences d'accidents majeurs

Cette section du rapport devrait donner des informations sur les accidents qui pourraient se produire:

- a) dégagements possibles de produits dangereux ou d'énergie;
- b) dispersion possible des produits dégagés;
- c) évaluation des effets des dégagements (étendue de la zone atteinte, effets sur la santé, dégâts matériels).

Il existe des modèles physiques qui peuvent être utilisés pour cette évaluation. On trouvera plus de détails à ce sujet dans divers ouvrages (Havens et Spicer, 1984; Pays-Bas, Direction générale du travail, 1979). Pour les méthodes de calcul des conséquences des accidents, on se reportera à l'annexe 4.

## H. Dispositions prises pour atténuer les conséquences des accidents

Si les mesures de sécurité qui doivent être prises à l'intérieur des installations relèvent exclusivement de l'exploitant, les dispositions prévues pour atténuer les conséquences des accidents qui pourraient se produire intéressent également les pouvoirs publics. Le rapport devrait indiquer de façon détaillée les dispositions prises par l'exploitant dans ce sens (section 3.4), dispositions qui devraient être coordonnées avec celles que les autorités sont appelées à arrêter. Les informations en question concernent notamment:

- a) les systèmes d'alarme;
- b) les plans d'intervention en cas d'accident;
- c) les services d'intervention.

### 3.5.2.3. Rapports d'accident

Si un accident majeur se produit dans une installation, l'exploitant devrait le déclarer immédiatement à l'autorité compétente. Le rapport devrait contenir les informations suivantes:

- a) circonstances de l'accident;
- b) produits dangereux;
- c) données disponibles pour évaluer les effets de l'accident sur les personnes et l'environnement;

d) mesures d'urgence prises.

Le rapport devrait indiquer en outre les mesures envisagées:

- a) pour atténuer les effets à moyen ou à long terme de l'accident;
- b) pour prévenir la répétition de l'accident.

Pour la déclaration de l'accident, on pourra employer une formule semblable à celle qui a été établie dans les Communautés européennes et qui est reproduite à l'annexe 7.

### **3.5.3. Mise à jour des rapports de sécurité**

Il pourra être nécessaire de mettre à jour les rapports de sécurité dans les cas suivants:

- a) modifications importantes de l'installation ou des procédés techniques;
- b) existence d'informations nouvelles sur les produits dangereux;
- c) progrès importants dans les techniques de sécurité.

Les rapports devraient en principe être mis à jour périodiquement, tous les trois, quatre ou cinq ans.

## 4. Rôle des pouvoirs publics

La prévention des accidents majeurs, dans l'optique de ce manuel, est, fondamentalement, l'affaire des exploitants d'installations à hauts risques. Dans le cadre du système global de prévention et d'intervention en cas d'accident, l'action des exploitants doit être appuyée et suivie par les pouvoirs publics, à qui il appartient de prendre les mesures indiquées ci-après.

### 4.1. Identification des installations présentant des risques d'accident majeur

Comme on l'a vu, l'autorité compétente doit organiser le recensement des installations présentant des risques d'accident majeur. La façon de conduire ce recensement est exposée au chapitre 2.

Suivant le nombre des installations recensées et les ressources disponibles, il convient de définir un champ d'action prioritaire pour la mise en place du système de rapports de sécurité et l'élaboration des plans d'intervention dans les zones d'implantation des installations, cela en fonction des critères suivants:

- nature des substances dangereuses mises en œuvre et quantités présentes;
- emplacement des installations par rapport aux zones habitées.

Des indications utiles peuvent être données par le nombre des accidents enregistrés avec les substances considérées; on pourra trouver des informations à ce sujet dans les études des statistiques d'accidents (Lees, 1980) ou dans certaines bases de données internationales (par exemple MHIDAS au Royaume-Uni).

### 4.2. Système de rapports de sécurité

Conformément à l'ordre de priorité établi à partir du recensement des installations à hauts risques, l'autorité compétente devra fixer une date limite pour la soumission des rapports de sécurité, en laissant aux exploitants assez de temps (un ou deux ans) pour les installations existantes.

Lors de l'examen de ces rapports, l'autorité vérifiera si les conditions énumérées au chapitre 3 de ce manuel sont remplies et si les informations fournies sont correctes.

L'examen doit comprendre une étude détaillée du rapport et, notamment, du diagnostic des risques; par ailleurs, il doit s'accompagner d'une inspection sur place de tous les éléments et de tous les processus réputés «critiques» dans le rapport de sécurité.

L'autorité compétente doit étudier en outre le plan d'intervention à l'intérieur des installations et s'assurer qu'il cadre bien avec le plan d'intervention établi pour les zones circonvoisines. La question des plans d'intervention, intérieurs et extérieurs, est traitée au chapitre 6.

### 4.3. Mesures visant à limiter les conséquences des accidents

Les plans d'intervention pour les zones circonvoisines des installations seront vraisemblablement établis par les autorités locales. Ils devraient l'être en consultation avec les exploitants et les services intéressés: police, sapeurs-pompiers, services d'ambulance, hôpitaux, service des eaux, transports publics, etc.

Ces plans devraient être tenus à jour de façon à pouvoir toujours être mis en œuvre sur-le-champ. Il importe d'assurer l'entraînement du personnel d'intervention et l'organisation d'exercices de secours, sujets traités dans la section 6.3.

Les services d'intervention doivent être en mesure, d'une part, d'aider les exploitants à faire face aux effets immédiats d'un accident à l'intérieur des installations, d'autre part, de combattre les effets que l'accident pourrait avoir dans les zones circonvoisines. Il s'écoule dans bien des cas un certain temps avant que ces zones soient touchées, ce qui permet de prendre les premières mesures de secours. Les effets risquent toutefois de persister pendant plusieurs heures, voire plus longtemps, et de nécessiter la mobilisation de moyens considérables (pour assurer au besoin l'évacuation de la population, interdire l'accès des zones sinistrées, organiser l'approvisionnement, etc.).

### 4.4. Autres mesures

#### 4.4.1. Implantation géographique des installations

Il appartient aux pouvoirs publics de décider s'il faut séparer certaines installations à hauts risques

des zones d'activité ou d'habitation. Le sujet est traité à l'annexe 8.

#### **4.4.2. Programme d'inspection**

Une fois le champ d'action prioritaire fixé à partir du recensement des installations et selon leur implantation géographique, il importe de mettre en place un système d'inspection pour contrôler l'application des mesures spéciales applicables à ces installations, en sus des mesures ordinaires de sécurité et d'hygiène du travail.

Suivant l'expérience qu'elles possèdent en

matière de risques d'accident majeur, les autorités compétentes devraient s'il y a lieu:

- a) s'assurer le concours technique d'un groupe d'experts;
- b) préparer des listes de contrôle des mesures de sécurité dans les installations;
- c) mettre au point un système et des programmes d'inspection pour les services chargés de visiter les installations.

Toutes ces tâches sont décrites en détail au chapitre 7.

## **5. Rôle des travailleurs et de leurs organisations**

Les travailleurs ont, sur le plan de la sécurité, la tâche capitale de faire fonctionner les installations d'une manière prudente et sûre. Aussi bien conçues et construites que soient celles-ci, il faut, pour assurer la sûreté de fonctionnement, que les travailleurs demeurent toujours conscients de la nature dangereuse des substances mises en œuvre et qu'ils assument le rôle qui est le leur dans la sécurité.

### **5.1. Rôle des travailleurs**

Les travailleurs devraient apporter leur appui et participer à l'application des mesures arrêtées, sur le plan de l'exploitation et dans les autres domaines, dans le cadre du système de prévention et de protection. Ils peuvent jouer un rôle actif en veillant constamment à la sûreté des postes de travail et du matériel et en appliquant toutes les consignes de sécurité et d'hygiène concernant leur travail.

Les travailleurs doivent toujours utiliser correctement tous les moyens et tous les dispositifs prévus pour leur protection et celle des autres personnes. Ils ne doivent en aucun cas enlever, modifier ou déplacer ces dispositifs, sauf autorisation expresse, ou en entraver le fonctionnement, ni aller à l'encontre des méthodes ou des procédés adoptés en vue d'éviter les accidents et les atteintes à la santé. Ils ne doivent pas davantage toucher au matériel, notamment aux dispositifs de commande, aux machines, à la robinetterie, aux tuyauteries, aux canalisations et aux appareils électriques, qu'ils ne sont pas autorisés à actionner ou à utiliser ou qu'ils ne sont pas chargés d'entretenir.

Les défauts constatés au cours du travail doivent être signalés sans délai au supérieur compétent. Si les travailleurs jugent, d'après leur expérience professionnelle, que l'exécution d'une tâche qui leur a été confiée ou qui a été confiée à d'autres travailleurs met leur vie ou leur santé en danger, ils doivent immédiatement faire part de leurs craintes à leur supérieur, aux délégués à la sécurité et au service de sécurité des installations.

La collaboration des travailleurs face à des situations de danger imminent est primordiale pour la prévention des accidents majeurs.

Les travailleurs doivent être informés d'une manière complète et appropriée des risques d'accident majeur que comporte leur travail. Ils devraient notamment recevoir une information de sécurité et d'hygiène lors de la planification ou de la modification des procédés d'exploitation ou de l'organisation du travail.

### **5.2. Rôle des organisations de travailleurs**

Au niveau national et au niveau de l'entreprise, les organisations de travailleurs peuvent prendre une grande part à l'établissement et à la mise en œuvre du système de prévention et d'intervention en cas d'accident. Convenablement informées, elles peuvent participer activement à l'étude des problèmes de sécurité et des moyens de faire face aux risques. Les organisations de travailleurs devraient s'attacher à développer la vigilance et la compétence de leurs adhérents en ce qui concerne la sécurité des installations à hauts risques et les substances chimiques dangereuses.

L'activité de formation de ces organisations est particulièrement importante. Cette formation devrait familiariser les travailleurs avec les principes fondamentaux de la prévention et de la lutte contre les risques d'accident majeur et insister sur les aspects concrets de la sécurité aux postes de travail. Il convient d'encourager la formation de spécialistes syndicaux de la prévention des risques d'accident majeur. Il importe également d'élaborer du matériel de formation et d'information à l'intention des travailleurs et de leurs organisations et d'en assurer la plus large utilisation.

Les organisations de travailleurs et les organisations d'employeurs devraient avoir des échanges de vue réguliers au sujet du système de prévention des risques d'accident majeur et de protection, des dispositions à prévoir et de leur mise en œuvre.



## 6. Plans d'intervention en cas d'accident

### 6.1. Introduction

#### 6.1.1. Définition

L'éventualité envisagée ici est celle de l'accident majeur, de nature à mettre les personnes en danger, à entraîner des dommages matériels graves et à provoquer des perturbations sérieuses à l'intérieur et à l'extérieur des installations. L'accident requiert en principe l'intervention des services de secours extérieurs pour la conduite d'une action efficace. La situation critique peut être causée par de multiples facteurs: défaillance des installations, erreur humaine, collision de véhicules, séisme, acte de sabotage, etc. Quelle que soit la cause, elle se manifeste en général sous trois formes principales: incendie, explosion, dégagement de substances toxiques.

#### 6.1.2. Observations générales

Il a été principalement question jusqu'ici de la prévention des accidents, grâce à des mesures appropriées sur le plan de la conception, de l'exploitation, de l'entretien et de l'inspection des installations. Ces dispositions diminuent certainement les risques d'accident, sans pouvoir les éliminer complètement: il n'est pas possible de parvenir à la sécurité absolue et il est indispensable de prévoir, à côté des mesures de prévention, des mesures pour limiter les conséquences des accidents qui pourraient se produire. Pour cela, il est essentiel d'établir des plans d'intervention en cas de situation critique: puisque des accidents peuvent survenir, il s'agit d'en prévoir les conséquences et d'arrêter les dispositions à prendre dans le périmètre des installations comme à l'extérieur de celles-ci.

La planification de ces mesures n'est qu'un aspect de la sécurité, qui ne peut pas être dissocié des autres: ce n'est pas parce que l'on aura élaboré un plan d'intervention en cas d'accident qu'il sera moins nécessaire de veiller à la sûreté des installations. Avant d'entreprendre l'élaboration d'un tel plan, les exploitants devraient s'assurer que les conditions de sécurité requises sont réalisées conformément à la législation applicable.

On est généralement amené à établir deux plans d'intervention, l'un pour les installations elles-mêmes, l'autre pour les zones circonvoisines. Les deux plans doivent cadrer parfaitement l'un

avec l'autre et répondre au même diagnostic de la situation à prévoir en cas d'événement critique. L'établissement du plan d'intervention dans le périmètre des installations incombe aux exploitants. Celui du plan d'intervention extérieur peut être confié par la législation à diverses instances; aux termes de la directive des Communautés européennes du 24 juin 1982, par exemple, il l'est aux autorités locales.

#### 6.1.3. Objectifs

Les objectifs généraux des plans d'intervention sont:

- a) de circonscrire les situations critiques et de les maîtriser si possible;
- b) de limiter le plus possible les effets des accidents sur les personnes et les choses.

Pour maîtriser la situation critique, il faut une intervention rapide du personnel d'exploitation et des équipes spéciales de l'entreprise, à l'aide des moyens de sécurité et de protection (dispositifs d'arrêt d'urgence, installations de pulvérisation d'eau, matériel de lutte contre l'incendie, etc.).

Pour limiter les conséquences de l'accident, il s'agira d'engager des moyens de secours et de premiers soins, d'informer sans délai la population des zones circonvoisines, de l'évacuer au besoin, d'assurer la remise en état des zones sinistrées.

#### 6.1.4. Détermination des situations à prévoir

Cette étape est primordiale pour l'établissement des plans d'intervention à l'intérieur et à l'extérieur des installations. Il appartient aux exploitants de rechercher systématiquement les situations critiques qui pourraient se produire – des événements mineurs auxquels le personnel d'exploitation serait en mesure de faire face sans aide extérieure aux accidents graves pour lesquels il y a eu lieu d'établir des plans d'intervention. L'expérience montre que, à côté des accidents de grande envergure, il survient quantité d'incidents de moindre gravité ou d'événements critiques qu'il est possible de maîtriser avant qu'ils prennent des proportions extrêmes.

La plupart des accidents majeurs relèvent des catégories suivantes:

## 1. Événements où des substances inflammables entrent en jeu

- a) incendie sans risque d'explosion; nature du danger: exposition prolongée à un rayonnement thermique intense/à une fumée dense;
- b) incendie menaçant des installations renfermant des substances dangereuses; nature du danger: propagation de l'incendie, explosion ou dégagement de substances toxiques;
- c) explosion sans alerte préalable ou avec une alerte de dernière minute; nature du danger: onde de choc, projections de débris, exposition à un rayonnement thermique intense.

## 2. Événements où des substances toxiques entrent en jeu

- a) dégagement lent ou intermittent d'une substance toxique, par exemple par une vanne présentant une fuite;
- b) incendie menaçant des installations renfermant des substances toxiques; nature du danger: dégagement des substances hors des éléments de l'installation où elles sont contenues;
- c) dégagement rapide de durée limitée dû à une défaillance matérielle, par exemple la rupture d'une tuyauterie; nature du danger: formation d'un nuage toxique de faible dimension, susceptible de se disperser rapidement;
- d) dégagement massif dû à la défaillance d'un élément important des installations (réservoir de stockage, réacteur) ou au déclenchement d'une réaction chimique non contrôlée et à la défaillance des systèmes de sécurité; le dégagement peut menacer une très vaste zone.

L'étude des possibilités d'accident devrait aboutir à l'établissement d'un rapport indiquant:

- a) les accidents les plus graves à envisager;
- b) l'enchaînement d'événements menant à ces accidents;

- c) la chronologie de ces événements;
- d) l'ampleur de ces événements (en admettant qu'il soit possible de les maîtriser);
- e) la probabilité relative des événements;
- f) les conséquences de chacun des événements.

Ce rapport pourra faire partie du rapport de sécurité (voir section 3.5) ou être élaboré séparément en vue de l'établissement des plans d'intervention.

Il convient de déterminer, pour tous les accidents à envisager, la quantité de substance dangereuse susceptible d'être dégagée, la vitesse du dégagement et les effets de l'accident (par exemple le rayonnement thermique en cas d'incendie ou les concentrations en cas de dégagement toxique) en fonction de la distance des installations. Les conséquences des accidents majeurs sont évoquées au chapitre 1; la question de leur évaluation est abordée au chapitre 3 et à l'annexe 4.

Les tableaux 8, 9 et 10 indiquent les effets du souffle d'une explosion, les effets du rayonnement thermique sur la peau et les effets de l'action du chlore, le gaz toxique le plus répandu, sur l'homme. Il est indispensable de disposer, pour l'établissement des plans d'intervention, de données analogues pour toutes les substances toxiques utilisées. Il appartient aux exploitants de s'informer auprès des fournisseurs des risques que présentent les substances dangereuses.

Cette évaluation générale des risques d'accident majeur sert de base à l'élaboration des plans d'intervention à l'intérieur et à l'extérieur des installations.

Des méthodes de détermination des risques ont été mises au point et sont couramment appliquées dans de nombreux pays, en particulier pour l'étude d'opérations ou d'installations nouvelles. Nous avons décrit au chapitre 3 l'une de ces méthodes, qui consiste à analyser systématiquement toutes les possibilités de dysfonctionnement à tous les stades des processus et dans tous les secteurs des installations (3.1.1.2: étude des dangers et des conditions de fonctionnement); on trouvera plus de détails à ce sujet à l'annexe 3.



**Tableau 8. Effets du souffle d'une explosion**

Surpression maximale Valeur approximative en kPa <sup>1</sup> sur une surface verticale	Objet	Effet	
0,7 à 1	Vitres	5 % cassées	
1,4 à 3		50 % cassées	
3 à 6		90 % cassées	
1,4 à 3		Maisons	Habitables après réparation: dégâts aux plafonds, aux fenêtres et à la toiture (tuiles)
3 à 6	Dégâts structurels mineurs, cloisons et éléments de menuiserie arrachés, tuiles soufflées		
6 à 9	Portes et fenêtres enfoncées		
14 à 28	Inhabitables: effondrement partiel ou total de la toiture, démolition partielle d'un ou de deux murs extérieurs, dégâts importants aux murs porteurs intérieurs		
35 à 80	50-75 % de la maçonnerie extérieure détruite ou rendue instable		
80 à 260	Démolition presque complète		
70 à 170	Poteaux téléphoniques		Abattus
170 à 380	Gros arbres		Abattus
80 à 190	Wagons de chemin de fer		Limite de déraillement

<sup>1</sup> 100 kPa = 1 bar.

**Tableau 9. Effets du rayonnement thermique sur la peau non protégée**

Intensité du rayonnement kW/m <sup>2</sup>	Durée d'exposition (s) avant	
	la sensation de douleur	la formation d'ampoules
Au-dessous de 2,5	Exposition prolongée supportable	
2,5	40	65
5	16	25
8	8	13,5
11	5	8,5
18	2,5	4,3
22	2	3

**Tableau 10. Effets du chlore sur l'homme**

Concentration (ppm <sup>1</sup> )	Durée d'exposition	Effet
3-6	–	Odeur piquante ou sensation de brûlure, mais tolérance sans dommage pour la santé pendant une heure au maximum
10	1 min	Toux
10-20	30 min	Dangereux: irritation immédiate du nez, de la gorge et des yeux accompagnée de toux et de larmolement
100-150	5 à 10 min	Peut être mortel pour des personnes vulnérables
300-400	30 min	Concentration létale médiane, mortelle pour 50 % des personnes exposées (personnes actives en bonne santé)
1 000	Courte (quelques inspirations)	Issue mortelle probable

<sup>1</sup> 1 ppm = 3 mg/m<sup>3</sup>.

## 6.2. Plans d'intervention à l'intérieur des installations

### 6.2.1. Elaboration du plan et organisation des services d'intervention

Le diagnostic des risques conduit soit à apporter des améliorations aux installations ou aux procédés, par exemple à mettre en place des systèmes de sécurité supplémentaires ou à adopter des méthodes plus sûres, soit à constater que les risques sont assez faibles pour pouvoir être acceptés.

C'est à l'exploitant qu'il appartient d'élaborer le plan d'intervention à l'intérieur des installations, en fonction du diagnostic final. Le plan doit être expressément conçu pour les installations considérées. Dans les installations très simples, il suffira peut-être d'alerter les travailleurs et de faire appel pour le reste aux services de secours extérieurs. Dans les grandes installations où se déroulent des processus complexes, le plan peut devenir un gros document comprenant les éléments qui suivent:

- a) description des événements prévus: nature, importance, probabilité;

- b) description du plan et liaison avec les autorités et les services d'intervention extérieurs;
- c) procédures à suivre:
  - déclenchement de l'alerte;
  - communications à l'intérieur des installations et avec l'extérieur;
- d) désignation des responsables des secours et description de leurs fonctions:
  - chef d'intervention en cas d'incident;
  - directeur général des secours;
- e) établissement du poste de commandement;
- f) mesures à prendre à l'intérieur des installations;
- g) mesures à prendre à l'extérieur des installations.

Le plan devrait indiquer les modalités selon lesquelles les personnes désignées au lieu de l'incident peuvent déclencher au moment opportun les interventions requises à l'intérieur ou à l'extérieur des installations. Il doit prévoir des mesures pour assurer autant que possible, par exemple par mise à l'arrêt, la neutralisation des secteurs touchés de l'installation. Pour les installations complexes, il devrait donner la liste complète des responsables qui devront être successivement appelés d'autres secteurs de l'installation ou de l'extérieur.

Il importe de prévoir des moyens d'intervention – personnel et matériel – raisonnables susceptibles d'être mobilisés rapidement. L'exploitant doit s'assurer qu'il existe sur place des moyens suffisants pour la mise en œuvre du plan, en collaboration avec les services de secours extérieurs, dans les différentes éventualités envisagées (alimentation en eau pour le refroidissement des installations, par exemple, et personnel nécessaire pour la mise en œuvre des lances).

Il importe aussi de bien étudier les délais d'intervention. Le facteur temps, qui est extrêmement important, est souvent négligé. En admettant par exemple qu'il faille 15 minutes après le début de l'incident pour que les pompiers arrivent et 15 autres minutes pour qu'ils se déploient et mettent en place leur matériel, il faut déterminer si les moyens prévus sur place permettront de contenir l'incident tout ce temps. Un réservoir de 1 tonne de chlore liquide se vide, par une vanne

grande ouverte, en une dizaine de minutes, et une bouteille de gaz plus vite encore; si ce sont des accidents qui peuvent se produire, il faut pouvoir intervenir assez vite pour que cela en vaille la peine.

Il convient de tenir compte, dans le plan, des absences pour cause de maladie, des congés et des périodes de fermeture pendant lesquelles seul le personnel de gardiennage, peut-être, sera présent: le plan doit être applicable quels que soient les variations des effectifs ou les autres aléas qui peuvent se produire.

### 6.2.2. Moyens d'alarme et de communication

Les communications ont une importance extrême dans la conduite des interventions en cas de situation critique.

Dans de nombreuses installations, tout travailleur est autorisé à donner l'alarme en cas d'urgence, de façon qu'il soit possible d'agir au plus vite pour maîtriser la situation. Les systèmes d'alarme sont de différentes sortes. Les caractéristiques du système dépendent notamment de la taille des installations. Il devrait y avoir un nombre suffisant de points d'où il soit possible de déclencher l'alarme soit directement, en actionnant une alarme acoustique, soit indirectement, en envoyant un signal ou un message à un centre occupé en permanence. L'alarme doit être communiquée au chef d'intervention (voir 6.2.3.1), lequel devrait évaluer la situation et appliquer les mesures appropriées. Dans les zones très bruyantes, il convient d'installer au besoin plusieurs dispositifs d'alarme acoustique ou des feux à éclats. Les dispositifs d'alarme automatiques sont utiles dans certaines installations.

Il convient aussi de mettre en place un système de communication sûr pour avertir les services d'intervention extérieurs dès le déclenchement de l'alarme. Les dispositions précises à prendre devront être arrêtées sur le plan local. Dans certains cas, il est indiqué d'établir une ligne de communication directe avec le poste des sapeurs-pompiers. Il peut être utile de convenir d'un code pour indiquer la nature des incidents et leur gravité.

### 6.2.3. Désignation des responsables et définition de leurs fonctions

Pour assurer des interventions efficaces, il est nécessaire de désigner des responsables appelés à assumer certaines fonctions, souvent distinctes de leurs fonctions ordinaires, en cas d'incident. Les deux principaux sont le chef d'intervention en cas d'incident et le directeur général des secours.

#### 6.2.3.1. Chef d'intervention

La personne désignée comme chef d'intervention est souvent celle sous la direction de qui les installations sont placées au moment où l'incident survient. Il convient, dans les installations travaillant en continu, d'organiser une permanence. Il appartient au chef d'intervention d'assumer, dans un premier temps, la direction des opérations. Il pourra avoir à prendre des décisions concernant les installations voisines susceptibles d'être touchées par l'incident si les précautions nécessaires ne sont pas prises.

Les fonctions du chef d'intervention sont les suivantes:

- a) évaluer la gravité de l'incident (à l'intention des services d'intervention intérieurs et extérieurs);
- b) déclencher les mesures prévues pour assurer la sécurité du personnel, limiter le plus possible les dommages causés aux installations et aux biens et réduire au minimum les pertes de produits;
- c) diriger les opérations de secours; en cas d'incendie, conduire la lutte contre le feu jusqu'à l'arrivée des sapeurs-pompiers (si leur intervention est nécessaire);
- d) faire rechercher les victimes;
- e) faire évacuer les travailleurs dont la présence n'est pas indispensable vers les points de rassemblement;
- f) établir un point de communication avec le poste de commandement (voir section 6.2.4);
- g) remplir les fonctions du directeur général des secours jusqu'à l'arrivée de celui-ci;
- h) renseigner et conseiller comme il convient les services d'intervention extérieurs.

Le chef d'intervention doit être facilement reconnaissable sur les lieux de l'incident; à cette fin, il porte généralement un casque de protection et une veste d'une couleur particulière, connue de tous les intéressés, qui le distinguent aussi des membres des services de secours extérieurs.

#### 6.2.3.2. Directeur général des secours

Le directeur des secours est fréquemment choisi parmi les cadres supérieurs. Il est chargé d'assurer la direction générale des opérations depuis le poste de commandement, relevant le chef d'intervention – qui l'assume dans un premier temps – de cette mission.

Plus précisément, les fonctions du directeur des secours sont les suivantes:

- a) déterminer (si cela n'est pas déjà fait) si l'on se trouve ou l'on risque de se trouver devant une situation grave exigeant le concours des services d'intervention et la mise en œuvre du plan d'intervention extérieurs (voir section 6.3);
- b) prendre la direction directe des opérations dans l'ensemble des installations, en dehors de la zone touchée;
- c) analyser en permanence les évolutions possibles pour déterminer le cours probable des événements;
- d) faire mettre les installations à l'arrêt et les faire évacuer s'il y a lieu après consultation du chef d'intervention et des autres responsables de la sécurité;
- e) veiller à ce que les victimes reçoivent les soins nécessaires;
- f) assurer la liaison avec le commandement des sapeurs-pompiers, le commandement de la police et les services d'inspection;
- g) organiser la circulation à l'intérieur des installations;
- h) faire tenir le journal des événements;
- i) assurer l'information des médias;
- j) surveiller la remise en état des zones sinistrées après l'accident.

A côté du chef d'intervention et du directeur des secours, d'autres membres du personnel ont des fonctions particulières à remplir dans la mise en

œuvre du plan d'intervention: directeurs des secteurs de l'installation qui ne sont pas directement touchés, secouristes, personnes chargées de l'accueil des blessés, techniciens chargés des contrôles de l'atmosphère, personnes appelées à assurer la liaison avec les médias. Tous doivent être informés précisément de leur mission dès la mise en chantier du plan d'intervention.

#### 6.2.4. Poste de commandement

Le poste de commandement est l'endroit d'où les opérations sont dirigées et coordonnées. Y seront présents le directeur des secours, les responsables de la sécurité et les commandants des sapeurs-pompiers et de la police.

Dans les installations de petite taille, le poste de commandement peut être situé dans un bureau prévu pour être ainsi utilisé en cas d'accident. Dans les grandes installations, il convient d'aménager un local spécial. Dans tous les cas, le poste doit être équipé, pour la transmission des informations et des ordres, de moyens de communication qui assurent une liaison permanente avec le chef d'intervention, les différents secteurs des installations et l'extérieur.

Le poste de commandement devrait disposer des moyens suivants (selon les conditions et les besoins):

- a) un nombre suffisant de téléphones pour les communications avec l'extérieur; l'un d'eux devrait si possible être réservé aux communications sortantes avec ligne directe (en prévision du risque de surcharge du central téléphonique);
- b) un nombre suffisant de téléphones pour les communications à l'intérieur des installations;
- c) un émetteur-récepteur radio;
- d) un plan des installations portant les indications suivantes:
  - secteurs où se trouvent d'importantes quantités de produits dangereux;
  - endroits où se trouvent les équipements de sécurité;
  - système de lutte contre l'incendie et prises d'eau;
  - entrées et voies de circulation dans les

installations (avec des informations sur les travaux en cours);

- points de rassemblement;
- implantation des installations par rapport aux zones circonvoisines;
- parcs de stationnement des véhicules routiers et voies ferrées;

(d'autres plans devraient être disponibles pour situer les zones touchées, etc., lors d'un accident);

- e) des blocs-notes, des stylos et des crayons;
- f) la liste nominative du personnel;
- g) la liste des responsables de la sécurité, avec leur adresse, leur numéro de téléphone, etc.

Le poste de commandement devrait être situé dans une zone aussi peu exposée que possible. Dans les grandes installations et dans celles où il existe un risque de dégagement toxique, il convient d'envisager l'aménagement de deux postes pour pouvoir, si l'un est inutilisable, occuper l'autre.

#### 6.2.5. Mesures à prendre à l'intérieur des installations

Le but premier du plan d'intervention dans le périmètre des installations est de contenir et de maîtriser l'incident de façon qu'il ne puisse se propager aux secteurs voisins. Il n'est pas possible de prévoir dans le plan tout ce qui pourra arriver; pour agir efficacement, il faudra savoir prendre, face à l'événement, des décisions et des mesures appropriées. On évoquera cependant ici quelques questions importantes.

#### Evacuation

Le personnel dont la présence n'est pas indispensable est en principe évacué de la zone de l'incident et des zones voisines. Il devrait être dirigé vers un point de rassemblement déterminé au préalable, dans une zone sûre des installations. Dans certains cas, notamment face au risque de dégagement toxique, il faut prévoir plusieurs points de rassemblement, selon la direction du vent. Ces points doivent être clairement signalés. Le plan devrait désigner une personne chargée d'établir la liste de tous ceux qui arrivent au point de rassemblement, liste qui sera communiquée au poste de commandement.

### **Pointage du personnel**

Il est très important de pouvoir faire un pointage des personnes présentes lors d'un incident, mais c'est une opération qui peut être fort difficile. En raison de la présence de visiteurs ou de personnel appartenant à des entreprises extérieures, en raison des changements de poste (dans le travail en continu), des absences et des congés, il n'est habituellement pas possible en pratique de tenir une liste précise des personnes présentes à tout moment dans les installations. En général, on dispose d'une liste nominative du personnel qui peut être mise à jour rapidement en cas d'incident. Il conviendrait de tenir aussi une liste détaillée du personnel appartenant à des entreprises extérieures ainsi qu'une liste des visiteurs.

Au poste de commandement, un pointeur devrait être chargé de réunir la liste des personnes arrivées au point de rassemblement et celle des personnes engagées dans les opérations de secours, pour les collationner avec la liste (mise à jour pour la journée) des personnes présentes en principe dans les installations. Si, d'après ce pointage, il y a des personnes manquantes qui auraient pu se trouver dans la zone de l'incident, le directeur des secours doit en être informé et prendre les dispositions nécessaires pour organiser les recherches.

### **Tenue d'un fichier du personnel**

Il est indispensable d'avoir accès à certains renseignements personnels pour pouvoir informer rapidement les familles des éventuelles victimes. Il conviendrait de conserver, au poste de commandement, un fichier du personnel (contenant des indications telles que le nom et l'adresse des salariés, le nom et l'adresse du parent le plus proche, etc.) et de le mettre régulièrement à jour, pour tenir compte des mouvements de personnel et des changements à apporter dans les renseignements consignés.

### **Relations avec les médias**

Les incidents qui pourraient se produire ne manqueront pas de susciter l'intérêt des médias, et il faut s'attendre, en cas d'accident grave, à ce que la radio et la télévision rendent compte très largement de l'événement. Si des dispositions appropriées ne sont pas prises, la présence des

journalistes risque de gêner le personnel d'intervention dans sa tâche. Il importe donc, lors de tout incident qui se prolonge, d'assurer une information de source autorisée et de désigner à cet effet, parmi les cadres, un porte-parole exclusif de l'entreprise; tout journaliste qui s'adresserait à un autre membre du personnel devrait être renvoyé à cette personne.

### **Remise en état des lieux**

L'alerte continuera, en cas d'incendie, jusqu'à ce que le feu ait été complètement éteint et le risque de reprise écarté ou, lors d'un dégagement de gaz, jusqu'à ce que celui-ci ait été stoppé et que le nuage de gaz se soit dispersé. Même alors, il convient de prendre les précautions nécessaires pour pénétrer dans la zone sinistrée. Il est possible que les services d'inspection veuillent faire une enquête; ils devraient être consultés à ce sujet avant toute modification de l'état des lieux.

### **6.2.6. Arrêt des installations**

Dans les installations simples, la procédure de mise à l'arrêt peut être relativement simple elle aussi, puisqu'elle ne se répercute pas d'un secteur sur l'autre. Il en va différemment dans les installations telles que les grandes usines pétrochimiques ou les raffineries, où les opérations sont fréquemment liées les unes aux autres et où l'arrêt d'une unité (par exemple une centrale électrique) peut avoir des répercussions importantes dans d'autres secteurs. Il s'agit de le prévoir dans les plans d'intervention et d'établir des procédures qui permettent de commander une mise à l'arrêt séquentielle ordonnée en cas de nécessité, selon la nature de l'incident.

### **6.2.7. Exercices d'application des plans**

Une fois mis au point, le plan d'intervention devrait être porté à la connaissance de l'ensemble du personnel afin que chacun soit informé de son rôle en cas d'incident. Il est indispensable de tester régulièrement les plans en organisant des exercices pratiques, seul moyen d'en déceler les points faibles.

Les communications revêtant une importance extrême en cas d'incident, il convient de procéder à des essais du système de communication et de voir les mesures à prendre au cas où une partie du

système (par exemple les téléphones) tomberait en panne.

Il convient aussi d'organiser des exercices d'évacuation en évitant autant que possible de perturber les activités normales. Des exercices plus complets, avec la participation des services de secours extérieurs (lorsque leur intervention est prévue dans le plan), devraient également être mis sur pied.

De nombreuses entreprises font des exercices sur maquette pour tester leur plan. C'est une solution très économique, les exercices n'interrompant pas l'exploitation normale et permettant d'imaginer toutes sortes de situations qui requièrent des décisions immédiates. Il n'en demeure pas moins nécessaire d'organiser des exercices "en vraie grandeur", dans des conditions correspondant aux conditions réelles, pour compléter les exercices sur maquette.

#### **6.2.8. Critique et mise à jour des plans**

Les exercices organisés pour tester les plans d'intervention devraient être suivis si possible par des observateurs étrangers au personnel de l'entreprise, par exemple des responsables des services de secours extérieurs ou des services d'inspection. A la fin de chaque exercice, le plan devrait faire l'objet d'une critique approfondie, qui en fasse apparaître les lacunes ou les points faibles. Les plans d'intervention, notamment pour les installations complexes, sont continuellement améliorés et mis à jour; il est indispensable que toute modification importante soit portée à la connaissance de ceux qui seraient appelés à intervenir en cas d'incident et que la modification concerne.

### **6.3. Plans d'intervention à l'extérieur des installations**

#### **6.3.1. Introduction**

Le plan d'intervention à l'extérieur des installations est partie intégrante du système général de prévention et de protection. Il devrait répondre aux risques d'accident qui, parmi ceux qui ont été établis par l'exploitant, pourraient mettre en danger la population et l'environnement hors du périmètre des installations. Il procède de façon logique de l'évaluation qui sert de base au plan

d'intervention intérieur, les deux plans devant être complémentaires.

Les dispositions du plan d'intervention à l'extérieur des installations devraient répondre aux éventualités les plus probables, mais il convient de prendre en compte aussi les autres événements, moins probables, qui pourraient avoir des conséquences graves (il y a cependant des événements dont la probabilité est si faible qu'il n'y a pas lieu de les envisager en détail dans le plan; la chute d'un avion sur les installations pourrait en être un exemple). La première qualité d'un plan doit être sa souplesse d'application dans des situations autres que celles qui ont été expressément considérées lors de son élaboration.

Le rôle des diverses parties qui peuvent avoir à intervenir dans le plan de secours extérieur est décrit ci-après. Suivant les dispositions en vigueur dans le pays, c'est en principe soit à l'exploitant, soit aux autorités locales (comme le prévoit la directive des Communautés européennes, par exemple) qu'il incombe d'élaborer le plan. Dans les deux cas, celui-ci doit désigner un coordonnateur (voir section 6.3.3) appelé à prendre la direction générale des opérations. Comme pour le plan d'intervention dans le périmètre des installations, il faudra établir un poste de commandement d'où le coordonnateur pourra conduire l'intervention.

Dans de nombreux cas, il est nécessaire, en cas d'accident, de prendre une décision rapide au sujet des consignes à donner à la population de la zone menacée, en déterminant notamment si elle doit être évacuée ou invitée à rester chez elle (la consigne pourra être régulièrement reconsidérée en cas d'aggravation de la situation). Les facteurs suivants peuvent avoir une influence sur la décision d'évacuation:

#### **Incendie important sans risque d'explosion**

Dans une éventualité de ce genre (par exemple l'incendie d'un réservoir d'hydrocarbure), il est vraisemblable que seuls les bâtiments proches de l'incendie devront être évacués; toutefois, si le dégagement de fumée présente un risque important, il faudra reconsidérer régulièrement la situation.

### **Incendie en extension menaçant des installations renfermant des substances dangereuses**

Il pourra être nécessaire d'évacuer la population de la zone voisine, à condition qu'on en ait le temps; sinon, il faut conseiller à la population de rester chez elle et de se protéger contre les effets de l'incendie. Cette seconde situation peut se présenter notamment lorsqu'il y a un risque d'explosion du type "boule de feu", avec de très graves effets de rayonnement thermique (par exemple dans les dépôts de gaz de pétrole liquéfié).

### **Dégagement ou risque de dégagement de substances toxiques**

Il peut être indiqué de procéder à une évacuation limitée de la zone située dans le lit du vent, à condition qu'on en ait le temps. La décision dépend en partie du genre d'habitations que l'on trouve dans la zone menacée. Les bâtiments modernes en dur offrent, fenêtres fermées, une bonne protection contre les effets d'un nuage toxique; les habitats du genre bidonville, comme il en existe notamment dans les pays en développement, offrent une protection très faible ou nulle.

Par rapport aux nuages de vapeurs inflammables, ceux de substances toxiques restent généralement dangereux jusqu'à des concentrations beaucoup plus faibles, c'est-à-dire sur de plus grandes distances. Un nuage toxique qui se déplace à une vitesse de 300 m/min, par exemple, recouvre très rapidement une vaste zone. Il faut tenir compte de ces données pour prendre, le cas échéant, la décision d'évacuation.

Le plan d'intervention à l'extérieur des installations devrait être suffisamment souple pour répondre à toute la gamme des éventualités envisagées sur la base du diagnostic établi en vue de l'élaboration du plan d'intervention intérieur. Il convient toutefois de le centrer plus particulièrement sur un certain périmètre autour des installations; ce périmètre pourra correspondre au périmètre d'avertissement de la population (voir 7.3.11) ou au périmètre déterminé par la distance de sécurité à prévoir entre les installations et les zones habitées (voir annexe 8).

### **6.3.2. Contenu du plan**

Les plans d'intervention à l'extérieur des installations devraient régler notamment les questions suivantes:

#### **Organisation**

Structure du commandement, systèmes d'alerte, procédures à suivre, organisation des postes de commandement. Noms et fonctions du chef d'intervention et du directeur des secours pour les installations, de leurs suppléants et des autres responsables de la sécurité.

#### **Communications**

Liste du personnel chargé des communications, organisation du centre de communication, indicatifs d'appel, réseau, listes téléphoniques.

#### **Moyens de secours spéciaux**

Moyens disponibles et endroit où ils se trouvent: engins de levage, boteurs, équipement de lutte contre l'incendie, bateaux-pompes.

#### **Organismes techniques**

Organismes, entreprises ou personnes dont le concours peut être nécessaire dans les domaines techniques: organismes du secteur de la chimie, laboratoires, etc.

#### **Organisations bénévoles**

Dirigeants, numéros de téléphone, moyens, etc.

#### **Produits dangereux**

Renseignements sur les produits dangereux stockés ou mis en œuvre dans les installations, risques qu'elles présentent.

#### **Renseignements météorologiques**

Possibilité d'obtenir des renseignements sur les conditions météorologiques et leur évolution probable.

#### **Secours aux victimes**

Organisation des centres d'évacuation, moyens de transport, ambulances, premiers secours, soins aux blessés, salles mortuaires, ravitaillement d'urgence.

## Information

Relations avec les médias; service de presse; relations avec les familles, etc.

## Enquête, évaluation

Rassemblement d'informations sur les causes de l'accident; critique de l'efficacité du plan d'intervention.

### 6.3.3. Rôle du coordonnateur général des secours

Les différents services d'intervention doivent être coordonnés par un coordonnateur général. Celui-ci sera vraisemblablement un commandant de la police mais pourra être aussi, suivant les circonstances, un commandant des sapeurs-pompiers. Le coordonnateur doit agir en étroite liaison avec le directeur des secours à l'intérieur des installations. En cas d'accident très grave ayant des conséquences sérieuses ou prolongées dans les zones circonvoisines des installations, la direction de l'intervention peut être confiée à un haut fonctionnaire de l'administration locale, voire à un coordonnateur désigné par le gouvernement provincial ou le gouvernement central du pays.

### 6.3.4. Rôle de l'exploitant

Ce rôle dépend des dispositions en vigueur dans le pays. Lorsque ce sont les autorités locales qui sont compétentes pour l'élaboration des plans d'intervention à l'extérieur des installations (voir section 6.3.5), il incombe à l'exploitant de prendre contact avec le service chargé de cette tâche et de lui fournir les informations dont il a besoin, notamment une description des accidents susceptibles de menacer les zones circonvoisines, avec l'indication de leur probabilité et de leurs conséquences possibles.

L'exploitant devrait fournir tous renseignements utiles à tous les organismes extérieurs qui pourraient être appelés à participer, en cas d'accident, aux opérations de secours, organismes qui devraient se familiariser au préalable avec certains aspects techniques des activités; cela vaut par exemple pour les services de secours, les services médicaux ou encore les services de l'eau (s'il y a risque de pollution).

### 6.3.5. Rôle des autorités locales

Dans beaucoup de pays, c'est aux autorités locales qu'il incombe d'élaborer les plans d'intervention à l'extérieur des installations. Cette tâche peut être confiée à un service spécial (ou à un responsable expressément désigné) ayant pour mission générale d'arrêter les mesures nécessaires, dans le ressort des autorités locales, pour faire face aux accidents, sinistres ou catastrophes de toute nature. Il appartient à ce service de se mettre en contact avec les exploitants pour obtenir les informations dont il a besoin et de maintenir ce contact pour assurer la mise à jour régulière des plans.

Il incombe audit service de veiller à ce que tous les organismes appelés à participer, en cas d'accident, aux opérations de secours connaissent leur mission et soient en mesure de la remplir, en ayant notamment le personnel et le matériel nécessaires.

Ce service devra organiser aussi les exercices d'application des plans, exercices qui s'imposent pour les plans d'intervention extérieurs comme pour les plans d'intervention dans le périmètre des installations (voir section 6.2.7).

### 6.3.6. Rôle de la police

La direction générale des interventions à l'extérieur des installations est habituellement confiée à la police, dont un commandant est désigné comme coordonnateur général des secours (voir 6.3.3).

Il incombe à la police, de façon générale, d'assurer la protection des personnes et des biens et de régler la circulation. Elle doit évacuer la population le cas échéant, prévenir les attroupements, s'occuper des victimes, procéder à l'identification des morts, avertir les proches des victimes.

### 6.3.7. Rôle des sapeurs-pompiers

La lutte contre les incendies est dirigée en principe par le commandant des sapeurs-pompiers, qui, dès son arrivée sur les lieux, prend la relève du chef d'intervention dans les installations. Il peut être chargé aussi de la direction des opérations en cas d'explosion ou de dégagement toxique.



Les unités de sapeurs-pompiers devraient connaître la configuration des installations où elles peuvent être appelées à intervenir: emplacement de tous les dépôts ou réservoirs de produits inflammables, des bouches d'incendie, des installations à mousse, du matériel d'extinction. Elles pourront avoir la possibilité de participer aux exercices d'intervention organisés dans les installations ou d'y assister.

### **6.3.8. Rôle des services médicaux**

L'intervention des services médicaux – médecins, chirurgiens, hôpitaux, services d'ambulances, etc. – qui ont, en cas d'accident majeur, un rôle vital à jouer doit être expressément prévue dans les plans de secours.

Lors d'un incendie, le rayonnement thermique a pour effet de provoquer des brûlures d'une gravité variable. La plupart des hôpitaux devraient être en mesure de soigner les brûlés, en dehors des cas très graves. Lors d'un dégagement toxique, les effets dépendent de la substance chimique; il importe que les services médicaux qui pourraient avoir à soigner les victimes connaissent les traitements indiqués pour les intoxications causées par la substance.

En cas d'accident majeur touchant les zones proches des installations, le matériel et les moyens médicaux disponibles sur place risquent d'être insuffisants; il convient donc d'élaborer, entre circonscriptions administratives voisines, un plan de coopération médicale qui permette à chacune de compter, en cas de besoin, sur l'aide des autres.

### **6.3.9. Rôle de l'organisme chargé de la sécurité et de la santé au travail**

Dans la plupart des pays, cet organisme est l'inspection du travail. Celle-ci devrait s'assurer en principe que les plans d'intervention à l'extérieur des installations permettent de faire face aux situations critiques de tous ordres qui pourraient se produire, notamment à des accidents majeurs, et établissent des procédures d'intervention bien

définies; elle s'assurera le cas échéant que des exercices ont été effectués pour tester les plans.

En cas d'accident majeur, le rôle de l'inspection du travail est fixé par les dispositions en vigueur dans le pays. Elle pourra être simplement chargée d'une mission d'observation ou participer de près à la conduite des opérations. Il est possible qu'elle seule dispose du matériel et du personnel nécessaires pour les contrôles de l'atmosphère lors d'un dégagement toxique.

Après l'accident, l'inspection du travail pourra être chargée de veiller à ce que la zone soit remise en état conformément aux exigences de la sécurité. Elle pourra faire saisir certaines pièces ou certains éléments des installations essentiels pour l'enquête, afin qu'ils soient examinés par des experts, et aussi entendre des témoins aussitôt que possible.

### **6.3.10. Exercices d'application des plans**

La large expérience acquise dans l'industrie chimique en ce qui concerne les interventions à l'intérieur des installations démontre la nécessité et l'utilité des exercices de secours.

L'instance chargée de l'élaboration des plans d'intervention extérieurs devrait en mettre les dispositions à l'épreuve à l'occasion des exercices effectués dans le périmètre des installations. La formule des exercices sur maquette est extrêmement utile dans ce cas, encore qu'il faille veiller à conserver aux exercices suffisamment de réalisme.

Il est particulièrement important de tester à fond tous les moyens de communication à mettre en place pour la coordination générale des interventions, par exemple entre les installations et les services de secours extérieurs ou entre le poste de commandement dans les installations et le lieu même de l'accident.

Les exploitants des installations sont en mesure de donner des conseils utiles pour l'organisation des exercices, notamment quant aux possibilités d'aggravation de la situation dangereuse.



# **7. Mise en œuvre du système de prévention et d'intervention en cas d'accident**

## **7.1. Introduction**

On trouve des installations à hauts risques, où des substances dangereuses sont stockées ou utilisées en grande quantité, dans la plupart des pays du monde. En ce qui concerne les moyens de surveillance, la situation diffère beaucoup d'un pays à l'autre – des systèmes très développés d'inspection appelant l'intervention coordonnée de toute une série d'instances sur le plan local et le plan national aux programmes d'inspection restreints portant principalement sur la sécurité des constructions, sans prendre expressément en compte le problème des risques d'accident majeur.

Dans ces conditions, la mise en œuvre du système de prévention et d'intervention en cas d'accident prendra plus ou moins de temps, selon les structures que le pays possède déjà, le personnel (un corps d'inspecteurs compétents et expérimentés) et les moyens dont il dispose au niveau local et au niveau national pour mettre en place les différents éléments du système.

Dans tous les pays, au demeurant, il faudra définir un ordre de priorité et mettre en œuvre le système par étapes. On se gardera, là où les structures existantes sont limitées, de vouloir faire trop de choses trop vite, car on risque fort en pareil cas de ne pouvoir tenir le calendrier prévu et de susciter le découragement général.

## **7.2. Identification des installations présentant des risques d'accident majeur**

Il est indispensable, pour mettre en place le système de protection et d'intervention, de commencer par définir les installations présentant des risques d'accident majeur. La définition de ces installations doit être parfaitement claire afin que tous les organismes intéressés puissent déterminer rapidement les installations qui relèvent de la définition et celles qui n'en relèvent pas.

Des définitions ont été établies dans certains pays, notamment ceux des Communautés européennes. Dans tout pays, la définition doit correspondre aux priorités et à la situation locales, notamment quant aux structures industrielles. Il ne serait guère utile, par exemple, d'adopter une définition qui viserait un nombre beaucoup plus

grand d'installations que celui pour lequel l'autorité de surveillance peut mobiliser des ressources.

La définition des installations présentant des risques d'accident majeur devrait se référer à une liste de substances dangereuses (nominées ou présentées par classes), avec l'indication, pour chacune, de la quantité à partir de laquelle le risque est réputé exister (quantité seuil): les installations où les substances en question sont stockées ou utilisées en quantité supérieure à la quantité indiquée doivent être considérées comme des installations à hauts risques.

La définition arrêtée, il s'agit de procéder au recensement de ces installations et d'en déterminer l'implantation géographique dans la région considérée ou dans le pays. Si la question fait l'objet d'un texte législatif, les entreprises visées peuvent être tenues de faire une déclaration à l'autorité compétente. Si un pays souhaite recenser les installations à hauts risques avant même d'avoir adopté des dispositions législatives à ce sujet, il peut déjà aller très loin, surtout s'il bénéficie de la coopération des entreprises, en utilisant des sources telles que les dossiers des services d'inspection, les informations communiquées par les organismes professionnels, etc. Il sera possible ainsi de dresser une liste provisoire et, sur cette base, de définir les missions prioritaires de l'inspection et d'évaluer les ressources nécessaires pour la mise en place du système de prévention et d'intervention en cas d'accident. Ces dispositions provisoires devraient être entérinées par la loi aussitôt que possible.

## **7.3. Programme d'action**

### **7.3.1. Constitution d'un groupe d'experts**

Dans les pays qui partent de rien et qui veulent établir un système de prévention des risques d'accident majeur et d'intervention en cas d'accident, l'une des premières mesures à prendre devrait être de constituer un groupe d'experts au niveau du gouvernement. Composée principalement d'ingénieurs, de chimistes et de physiciens, cette unité aura pour tâche de conseiller les pouvoirs publics, les exploitants, les syndicats, les autorités locales, les services d'inspection, etc. Là où il est difficile de trouver des experts, il faudra faire appel au besoin à des experts de l'industrie,

des universités ou des cabinets de conseil pour qu'ils apportent leur concours, éventuellement à temps partiel, à cette tâche importante.

Dans les pays qui disposent, pour mettre en place un système de prévention et d'intervention, de moyens très limités, il importe de ne pas disperser les efforts en envoyant les experts travailler chacun dans leur zone loin du centre du dispositif. Il vaut généralement mieux que le personnel soit réuni au sein d'une équipe où chacun apporte sa compétence et son expérience personnelles.

Le groupe devra arrêter son programme immédiat et fixer les tâches prioritaires. Si la définition des installations à hauts risques a déjà été établie et si les installations en question ont été recensées, on pourra en dresser l'état pour l'ensemble du pays en considérant en priorité les installations dangereuses les plus courantes (vraisemblablement celles où sont stockés ou utilisés le chlore, l'ammoniac et les gaz de pétrole liquéfiés).

Le groupe pourra être appelé à donner au personnel d'inspection une formation sur les méthodes d'inspection des installations et sur les normes d'exploitation. Les experts devraient connaître les méthodes de diagnostic des risques (par exemple l'étude systématique des dangers et des conditions de fonctionnement) et pouvoir conseiller les pouvoirs publics, les exploitants et les autorités locales lors de l'étude de nouvelles installations ou de la modification d'installations existantes comme pour la préparation des plans d'intervention. Ils devraient être capables aussi de donner des conseils sur l'implantation des nouvelles installations et l'utilisation des sols dans les zones circonvoisines, par exemple pour la construction d'habitations.

Les experts devraient prendre contact avec leurs collègues d'autres pays pour se tenir informés de tout ce qui concerne les installations à hauts risques, notamment sur le plan technique et sur le plan de la législation.

### **7.3.2. Plans d'intervention à l'intérieur des installations**

La question est traitée en détail dans la section 6.2. Ces plans ont leur raison d'être non seulement dans les installations présentant des risques

d'accident majeur, mais aussi dans toute une série d'activités où des substances dangereuses sont stockées ou utilisées en quantité moindre.

Pour s'en tenir aux installations à hauts risques, on peut penser que les exploitants seront conscients de la nécessité d'établir au plus vite des plans d'intervention en cas d'accident. Il est possible que la législation l'exige dans le cadre de l'obligation générale de sécurité. Si rien de tel n'est prévu, il importe de prendre d'urgence les dispositions nécessaires.

Pour l'établissement des plans, il convient de déterminer la gamme des accidents qui pourraient se produire dans les installations et la façon dont il faudrait y faire face. Il est indispensable pour cela que les exploitants disposent de tout le personnel et de tout le matériel nécessaires; il importe de vérifier que tel est bien le cas.

Les plans élaborés, il convient d'organiser des exercices pour en déceler les points faibles (notamment dans le système de communication) et y remédier.

### **7.3.3. Plans d'intervention à l'extérieur des installations**

La question est traitée en détail dans la section 6.3. On y a prêté moins d'attention jusqu'ici qu'à celle des plans d'intervention intérieurs, et de nombreux pays y seront confrontés pour la première fois. Ces pays peuvent se renseigner auprès des Etats des Communautés européennes, où l'établissement de plans d'intervention extérieurs est requis pour toutes les installations d'une certaine importance présentant des risques d'accident majeur.

Selon la directive des Communautés européennes, c'est aux autorités locales qu'il incombe d'élaborer les plans, à partir des informations communiquées par les exploitants sur les accidents qui pourraient se produire et leurs conséquences. Il se peut que, dans d'autres pays, il convienne de confier cette tâche aux exploitants plutôt qu'aux autorités locales, car ce sont eux qui possèdent le savoir-faire technique, souvent dans le cadre d'une structure multinationale.

Les plans d'intervention à l'extérieur des installations sont fonction principalement de la nature des accidents susceptibles de se produire

(selon le diagnostic des exploitants), de leur degré de probabilité et de la distance des zones d'habitation ou d'activité alentour. Il importe de prévoir l'éventuelle évacuation de la population et la manière de l'assurer compte tenu des conditions locales. Les habitations modernes en dur, par exemple, offrent une bonne protection contre les nuages toxiques, ce qui n'est pas le cas des constructions des bidonvilles. Il faut se souvenir aussi qu'on n'a souvent pas le temps de procéder à une évacuation de grande ampleur.

Les plans doivent indiquer les organismes dont le concours pourra être nécessaire en cas d'accident, organismes qui devraient connaître exactement le rôle qu'ils auront à jouer. C'est ainsi que les hôpitaux et le personnel médical devraient déterminer les dispositions à prendre pour secourir les victimes – dont le nombre risque d'être élevé – et savoir quel traitement leur administrer, notamment en cas de dégagement de gaz toxiques peu connus.

Il est nécessaire d'organiser des exercices pratiques pour mettre les plans d'intervention à l'épreuve; on se reportera, à ce sujet, à la section 6.3.10.

#### **7.3.4. Implantation géographique des installations**

La raison qui commande de définir une politique d'implantation des installations à hauts risques est simple: puisqu'il est impossible de garantir la sécurité absolue, il faut éloigner ces installations des zones d'habitation ou d'activité. La mise en œuvre d'une telle politique est moins simple: c'est peut-être, dans le système de prévention, la partie la plus difficile.

L'annexe 8 traite plus longuement la question et indique les distances de sécurité à observer en fonction de la nature des substances dangereuses et des quantités présentes. On peut beaucoup attendre, pour avancer dans ce domaine, des conseils du groupe d'experts (7.3.1).

Il conviendra peut-être de faire porter l'effort, pour commencer, sur le contrôle de l'implantation des installations nouvelles et le respect des périmètres de sécurité, en veillant à y empêcher la construction d'habitations et l'apparition de

bidonvilles, chose qui se produit souvent dans les pays en développement.

On peut penser que c'est une question sur laquelle il sera nécessaire de légiférer. On envisage, dans certains pays, d'obliger les sociétés qui souhaitent implanter des installations à hauts risques à acheter la totalité du terrain correspondant au périmètre de sécurité afin qu'elles puissent y exercer leur contrôle et prévenir toute construction. Sur ce point, la politique à suivre dépendra des conditions et des pratiques locales.

S'il n'est pas possible en fait de ménager autour des installations le périmètre de sécurité recommandé, on peut assurer encore une bonne protection, mais une protection bien évidemment moindre, en établissant un périmètre un peu inférieur.

#### **7.3.5. Formation des inspecteurs**

Les inspecteurs auront sans doute, dans de nombreux pays, un rôle central dans la mise en œuvre du système de prévention des risques d'accident majeur, rôle qui peut aller de la délivrance des autorisations d'exploitation à l'inspection des installations, une fois celles-ci en service.

Les inspecteurs doivent avoir les connaissances requises pour la prompt identification des installations à hauts risques. Les inspecteurs généralistes pourront se faire assister par des inspecteurs spécialisés pour les aspects très techniques que comporte souvent l'inspection de ces installations. Malheureusement, dans beaucoup de pays, on compte peu d'inspecteurs spécialisés, si bien que ce sont des agents dont la formation de départ n'est pas directement axée sur cette mission qui devront procéder aux inspections. Du succès de leur intervention dépendra en grande partie le succès du programme de prévention.

Il faut, pour aider les inspecteurs dans leur tâche, leur assurer une formation complémentaire appropriée. La formule des stages à l'étranger donne de très bons résultats, les inspecteurs ayant à cette occasion la possibilité de travailler avec des collègues plus expérimentés; c'est une formule qui risque d'être coûteuse, toutefois, fût-elle efficace au regard de son coût.

Une des tâches importantes du groupe d'experts (voir 7.3.1) sera d'organiser la formation des inspecteurs, au niveau national ou régional. Dans un premier temps, les experts pourraient établir, à l'usage des inspecteurs, des précis d'inspection pour les installations à hauts risques les plus courantes.

Ce sont vraisemblablement les entreprises elles-mêmes qui, dans de nombreux pays, disposeront des plus grands moyens et des plus larges compétences techniques. Elles pourront apporter leur concours à la formation des inspecteurs, par exemple dans le cadre de leurs programmes internes de formation.

### 7.3.6. Etablissement de listes de contrôle

Les listes de contrôle sont des instruments extrêmement utiles pour le diagnostic des risques. Comme les recueils de consignes pratiques, elles permettent de communiquer l'expérience acquise au prix d'un long travail à des personnes moins expérimentées.

D'application courante dans les systèmes de gestion en général, les listes de contrôle peuvent être utilisées à tous les stades de l'étude et de l'exploitation des installations industrielles: contrôle des propriétés et des caractéristiques de mise en œuvre des substances, contrôle de la conception technique des installations, contrôle des conditions d'exploitation. Elles permettent, grâce à un ultime pointage (comme celui que font les pilotes avant le décollage), de s'assurer que rien n'a été négligé.

Bien que telle ne soit pas, d'ordinaire, leur destination, les listes de contrôle peuvent être utilisées aussi par les inspecteurs en présence de technologies nouvelles avec lesquelles ils doivent se familiariser (voir 7.3.5), mais une certaine prudence s'impose.

Les listes de contrôle, pour être efficaces, doivent être effectivement utilisées et tenues à jour. On risque en effet, d'une part, de les laisser dormir dans un tiroir, d'autre part, de continuer à suivre aveuglément des listes dépassées par l'évolution technique: il faut prendre garde de ne faire ni l'un ni l'autre.

On peut trouver des indications détaillées sur toute une série de listes de contrôle portant notamment sur les systèmes de gestion,

l'implantation géographique et la configuration des installations industrielles, les propriétés physiques et chimiques des substances, les procédés industriels, la protection contre l'incendie, la formation et les enquêtes en cas d'incident (Lees, 1980).

### 7.3.7. Visite des installations par les inspecteurs

Cette section, qui traite de la conduite des inspections dans les installations présentant des risques d'accident majeur, porte plus particulièrement sur les méthodes d'identification et de contrôle des éléments dont la défaillance engendrerait un risque grave pour les personnes dans les installations et à l'extérieur.

La tâche des inspecteurs généralistes se présente différemment selon qu'ils sont assistés ou non par des inspecteurs spécialisés (voir 7.3.8). On part ici de l'idée qu'ils le sont. Si tel n'est pas le cas, il conviendra de considérer ensemble cette section et la section suivante, qui porte sur les tâches des inspecteurs spécialisés.

La plupart des incidents graves sont dus au dégagement de substances dangereuses qui s'échappent des installations. Il est donc nécessaire, en premier lieu, de repérer les éléments des installations qui contiennent de telles substances en quantité suffisante pour causer un incident grave.

C'est à l'exploitant qu'il incombe de veiller à la sûreté des installations et c'est lui qui devrait se doter des compétences techniques et des moyens nécessaires pour évaluer les risques et prendre les précautions qui s'imposent. Appelée quant à elle à assurer l'application des dispositions en vigueur, l'inspection doit établir, par un contrôle suffisamment étendu des mesures adoptées, que la direction est capable d'exploiter les installations conformément aux exigences de la sécurité et de maîtriser la situation en cas d'incident.

Les services d'inspection ne disposent généralement pas de moyens suffisants pour le contrôle complet de tous les éléments des installations et de toutes les procédures d'exploitation. Il faut opérer par sondage et établir au besoin un ordre de priorité, notamment dans les grandes installations, pour effectuer un sondage judicieux. Par sondage, il faut entendre ici la

sélection, pour chaque type d'éléments (par exemple les appareils sous pression), d'un élément considéré comme représentatif, sélection suivie de l'inspection approfondie dudit élément.

L'inspecteur chargé de visiter des installations importantes doit déterminer ses possibilités et établir son programme avec soin. A chaque visite, il choisira vraisemblablement d'inspecter de nouveaux éléments, de sorte qu'au bout d'un certain temps une inspection complète des installations aura été effectuée. Si l'on procède ainsi, il faut, comme les inspecteurs peuvent changer au fil des ans, tenir des registres d'inspection précis indiquant les éléments inspectés et les mesures prises à la suite de chaque inspection. Si l'inspecteur change de poste, son successeur pourra consulter ces registres et assurer la continuité de la stratégie d'inspection.

Il est particulièrement important de vérifier si le personnel d'exploitation est bien informé des problèmes de sécurité (matériel et modes opératoires) et s'il a reçu des consignes claires, par exemple sur les mesures à prendre en cas d'incident. Il convient d'examiner les programmes d'inspection, d'essai et d'entretien de l'entreprise pour les éléments de l'installation inspectés. L'inspecteur devrait également étudier les dispositions prévues en cas de situation critique et s'assurer qu'elles s'intègrent dans le plan d'intervention général pour les installations.

### **7.3.8. Visite des installations par des inspecteurs spécialisés**

Les inspecteurs spécialisés, en principe des ingénieurs – civils, mécaniciens, électriciens ou chimistes –, sont appelés à assister les inspecteurs généralistes dans le domaine qui est le leur, à donner leur avis sur les éléments à inspecter et à intervenir en tant que spécialistes dans les inspections. Leurs tâches peuvent être notamment les suivantes:

- a) inspection des appareils sous pression (conception, fonctionnement et entretien);
- b) contrôle des installations commandées par ordinateur (fiabilité des logiciels);
- c) contrôle de l'aménagement des dépôts de gaz de pétrole liquéfié, contrôle des mesures prises contre l'incendie;

- d) contrôle des procédures de modification des installations (afin de maintenir les conditions initiales de sécurité);
- e) contrôle des tuyauteries ou des conduites transportant des produits dangereux (conception et entretien).

Les inspecteurs spécialisés devraient se tenir au courant des accidents qui peuvent se produire dans le monde et qui intéressent leur discipline, pour être mieux en mesure de conseiller les autres inspecteurs et les exploitants.

Ils devraient bien connaître – les chimistes et les ingénieurs chimistes surtout – les substances pouvant engendrer des risques d'accident majeur. Leur avis pourra être de la plus grande importance pour l'instruction des demandes d'autorisation de construction de nouvelles installations, notamment en ce qui concerne les conditions à imposer le cas échéant et les conséquences pour les zones circonvoisines.

### **7.3.9. Etude des risques d'accident majeur**

Cette étude devrait être confiée si possible à des spécialistes, conformément aux directives établies par le groupe d'experts, par des inspecteurs spécialisés ou encore par des inspecteurs généralistes, avec le concours des exploitants le cas échéant. Il s'agit d'une étude systématique des risques d'accident majeur et des enchaînements d'effets qu'ils pourraient déclencher, semblable, en moins détaillé, à celle que les exploitants doivent effectuer pour la préparation du rapport de sécurité et celle du plan d'intervention en cas d'accident à l'intérieur des installations.

L'étude portera notamment sur toutes les opérations de manutention et de transport des substances dangereuses, car c'est dans ce type d'opérations que les accidents majeurs sont les plus fréquents.

Elle devra porter aussi sur les conséquences des incidents d'exploitation (instabilité des procédés ou modification importante des paramètres d'exploitation). Ce sont là des problèmes que les exploitants auront sans doute analysés de façon détaillée au stade de la conception des installations, lors de l'étude systématique des dangers et des conditions de fonctionnement, mais, fût-elle ici aussi beaucoup

moins détaillée, une étude indépendante est toujours utile.

Il convient d'examiner également, quand les installations comportent le stockage ou la mise en œuvre de différentes substances dangereuses, l'emplacement des éléments correspondants des installations les uns par rapport aux autres, eu égard aux risques qui peuvent en résulter, par exemple en cas de stockage rapproché de substances explosives et de gaz toxiques.

Il importe de déterminer de même les conséquences des défauts d'alimentation en énergie ou en fluides d'exploitation. On se demandera par exemple ce qui arriverait en cas de coupure soudaine et totale du courant alimentant les installations et les systèmes de sécurité.

Les effets des accidents majeurs susceptibles de se produire seront évalués pour la population des zones circonvoisines des installations. C'est un critère qui devrait être déterminant pour la délivrance des autorisations d'exploitation.

Il s'agit, en résumé, d'étudier les installations, de s'interroger sur une série d'éventualités, de déterminer si elles sont possibles et, dans l'affirmative, d'en évaluer la probabilité et d'arrêter les mesures à prendre en conséquence.

### 7.3.10. Suite à donner à l'étude des risques

L'étude des risques permet, avec les rapports de sécurité que les exploitants doivent soumettre:

- a) de décider s'il est possible de délivrer l'autorisation d'exploitation pour de nouvelles installations ou de nouveaux procédés;
- b) de déterminer l'implantation interne de nouvelles installations ou de nouveaux procédés;
- c) de déterminer les systèmes et les procédures de commande et de régulation à prévoir;
- d) d'élaborer, dans l'éventualité d'un accident, un plan d'intervention à l'intérieur des installations (l'étude des risques fournit en outre des informations pour l'élaboration du plan d'intervention extérieur);
- e) de fixer le périmètre de sécurité autour des installations;

- f) de déterminer l'information à donner à la population des zones circonvoisines (voir section 7.3.11).

### 7.3.11. Information de la population

On a pu constater, à l'occasion d'accidents majeurs, en particulier lors de dégagements toxiques, qu'il est extrêmement important d'informer préventivement la population des zones situées autour des installations dangereuses sur:

- a) la façon dont elle serait avertie de l'existence d'une situation critique;
- b) le comportement à adopter;
- c) les soins à administrer aux personnes atteintes.

Selon les dispositions adoptées par les Communautés européennes, les personnes susceptibles d'être affectées par un accident majeur survenant dans les installations visées doivent être informées, d'une manière appropriée, sur les mesures de sécurité et sur le comportement à adopter en cas d'accident.

Quand la population vit dans des habitations modernes en dur, on conseille généralement aux gens de rester chez eux, de fermer toutes les portes et toutes les fenêtres, d'arrêter tous les systèmes de ventilation ou de climatisation et d'écouter la radio locale pour recevoir des instructions. On ne saurait bien évidemment donner à la population les mêmes consignes quand elle vit en grande partie dans des bidonvilles où les constructions offrent peu de protection contre les nuages de gaz. Il se peut qu'il faille procéder alors, en cas d'accident, à une évacuation générale, opération dont les difficultés sont évoquées dans la section 6.3. Le film est un bon moyen d'informer la population de la conduite à tenir, notamment quand on se heurte au problème de l'analphabétisme.

Le périmètre dans lequel il convient d'informer la population autour des installations dangereuses dépend de l'évaluation des risques. C'est un point sur lequel le groupe d'experts (voir 7.3.1) pourra être consulté. Les distances de sécurité indiquées à l'annexe 8 pourront servir de première approximation.



## 8. Personnel et moyens nécessaires

### 8.1. Besoins en personnel

La mise en œuvre d'un système complet de prévention des risques d'accident majeur et d'intervention en cas d'accident tel que ceux dont se sont dotés les pays des Communautés européennes exige, en dehors des ingénieurs et des techniciens chargés directement ou indirectement d'assurer la sécurité d'exploitation des installations, du personnel de toute sorte – pour la conduite des inspections (inspecteurs généralistes, inspecteurs spécialisés), le diagnostic des risques, l'établissement des plans d'intervention en cas d'accident, l'étude des plans d'occupation des sols, les services médicaux et hospitaliers, les services de lutte contre l'incendie, la police, sans compter le personnel que requiert le travail législatif et réglementaire.

Cette liste est propre à effrayer les pays qui envisagent de mettre en place un système de sécurité à partir de zéro. Il faut se rappeler toutefois qu'il a bien fallu à ceux qui l'ont déjà fait une vingtaine d'années pour développer complètement leur système. La plupart des pays ne disposant sans doute que de ressources en personnel limitées, il est primordial de définir de façon réaliste les tâches prioritaires.

Il est vraisemblable que, dans de nombreux pays, le système de prévention des risques d'accident majeur viendra se greffer sur le système d'inspection des entreprises. Avec l'aide du groupe d'experts (7.3.1), il sera possible, surtout si l'on peut compter sur le concours d'un certain nombre de spécialistes, d'accomplir beaucoup de choses à relativement peu de frais: identification et recensement des installations présentant des risques d'accident majeur, inspection des éléments clés des installations, élaboration, par les soins des exploitants, des plans d'intervention à l'intérieur des installations, organisation de cours de formation pour familiariser les inspecteurs avec les méthodes d'inspection des installations à hauts risques.

Tout cela constituera un important progrès. L'objectif devrait être d'avancer pas à pas: il faut craindre, si l'on se fixe des tâches trop ambitieuses, que le personnel, surtout s'il manque d'expérience, ne se sente dépassé et ne puisse donner toute sa mesure.

### 8.2. Besoins en matériel

Il est possible d'aller assez loin dans la mise en place du système de prévention des risques d'accident majeur avec très peu de moyens matériels. Les inspecteurs n'ont pas besoin de beaucoup plus que le matériel d'inspection dont ils disposent déjà. Il faut, en revanche, développer les connaissances et l'expérience technique (voir section 8.3) et assurer la transmission de l'information du groupe d'experts à tous les éléments du dispositif: instituts du travail régionaux, organes d'inspection, entreprises. Des possibilités et des moyens de formation supplémentaires devront être créés s'il y a lieu.

Il faut mentionner un instrument fort pratique mais non indispensable: le micro-ordinateur. Les systèmes informatiques sont utiles pour l'établissement du fichier des installations à hauts risques, la détermination des tâches prioritaires, notamment pour le groupe d'experts, et la consultation des bases de données d'autres pays sur les substances dangereuses et les accidents (par exemple grâce au Centre international d'informations de sécurité et de santé au travail (CIS) du BIT). L'ordinateur, qui assure là le stockage de l'information, est aussi très utile pour l'évaluation des conséquences des éventuels accidents pour les populations voisines, grâce à sa puissance de calcul.

### 8.3. Sources d'information

Il est capital, pour la mise en place du système de prévention des risques d'accident majeur, d'avoir accès, auprès de sources étrangères le cas échéant, à l'information et d'en assurer la transmission rapide à tous ceux qui en ont besoin pour leurs tâches de sécurité.

Parmi les sources d'information utiles, il convient de citer:

- les experts et les chercheurs de l'industrie;
- les experts-conseils;
- les universités et les écoles d'enseignement technique;
- les institutions professionnelles;
- les organismes nationaux de normalisation;
- les institutions et les fondations de recherche;

- les rapports sur les évaluations des risques d'accident majeur;
- les rapports d'accident (par exemple ceux qui sont publiés dans *Loss Prevention Bulletin* par l'Institution of Chemical Engineers au Royaume-Uni);
- les articles techniques et les actes de congrès;
- les manuels (notamment celui de F. P. Lees: *Loss*

*prevention in the process industries* (Lees, 1980));

- les rapports des services d'inspection.

Il existe une abondante littérature sur les différents aspects de la lutte contre les risques d'accident majeur; utilisée de manière sélective, cette littérature constitue une source d'information importante pour le groupe d'experts.

# Bibliographie

American Institute of Chemical Engineers, 1985: *Guidelines for hazard evaluation procedures* (New York).

BIT, 1985: *Control of major hazards in India* (Genève).

—, 1991: *Prévention des accidents industriels majeurs*, recueil de directives pratiques (Genève).

Chemical Industries Association, 1984: *Guidelines for chemical sites on off-site aspects of emergency procedures* (Londres).

—, 1976: *Recommended procedures for handling major emergencies* (Londres).

Communautés européennes: Directive du Conseil du 24 juin 1982 concernant les risques d'accident majeur de certaines activités industrielles (82/501/CEE), *Journal officiel des Communautés européennes* (JO), n° L 230, 5 août 1982, p. 1.

—, Directive du Conseil du 19 mars 1987 modifiant la directive 82/501/CEE concernant les risques d'accident majeur de certaines activités industrielles (87/216/CEE) (JO), n° L 85, 28 mars 1987, p. 36.

—, Directive du Conseil du 24 novembre 1988 modifiant la directive 82/501/CEE concernant les risques d'accident majeur de certaines activités industrielles (88/610/CEE) (JO), n° L 336, 7 déc. 1988, p. 14.

Fussel, J., 1976: *Fault tree analysis - Concepts and techniques in generic techniques in reliability assessment* (Leyde, Pays-Bas, Nordhoff Publishing Company).

Havens, J.A., Spicer, T.O., 1984: *Development of a heavier-than-air dispersion model for the US Coast Guard hazard assessment computer system*, Symposium on Heavy Gas and Risk Assessment III (Bonn).

Henley, H.J., Kumamoto, H., 1981: *Reliability engineering and risk assessment* (Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall).

Lambert, H.E., 1973: *Systems safety analysis and fault tree analysis*, UCID-16238.

Lees, F.P., 1980: *Loss prevention in the process industries*, vol. 1 (Londres, Butterworth).

Otway, H., Peltu, M., 1985: *Regulating industrial risks* (Londres, Butterworth).

Pays-Bas, Direction-générale du travail, 1979: *Methods for the calculation of physical effects of the escape of dangerous materials*.

—, 1982: *Occupational safety report regulation*.

Royaume-Uni, Health and Safety Commission, 1976: *First report of the Advisory Committee on Major Hazards* (Londres).

Royaume-Uni, Health and Safety Executive, 1985: *The control of industrial major accidents hazards regulations* (Londres).

## Références complémentaires pour l'édition française

Confédération internationale des syndicats libres (CISL): *Y a-t-il un Bhopal près de chez vous?*, campagne des syndicats pour éviter des désastres chimiques dans le monde: les principes syndicaux pour la prévention de catastrophes chimiques (Bruxelles, 1986).

Ministère de l'Environnement, Direction de l'eau et de la prévention des pollutions et des risques; ministère de l'Intérieur, Direction de la sécurité civile: *Guide d'élaboration d'un plan d'opération interne* (1985).

Ministère de l'Industrie, des Postes et Télécommunications et du Tourisme; ministère de la Recherche et de l'Enseignement supérieur: *Le risque majeur industriel* (1986).

Ministère de l'Intérieur, Direction de la sécurité civile, Bureau des risques technologiques: *Mémento pour l'élaboration d'un plan particulier d'intervention (PPI) relatif à une installation ou à un site industriel* (1988).

Secrétariat d'Etat chargé de l'environnement et de la prévention des risques technologiques et naturels majeurs: *Éléments de sûreté chimique et de désastrologie* (1989), tomes 1, 2 et 3.

—, *Sûreté des installations classées* (1988).

—, *Guide d'application de la directive Seveso (installations classées)* (édition mise à jour juin 1989).

—, *Prévention des risques industriels*, Législation des installations classées, application de la directive Seveso (mars 1990).

—, *Maîtrise de l'urbanisation autour des sites industriels à hauts risques*, guide (oct. 1990).



## **Annexe 1**

# **Liste de substances dangereuses et quantités seuils**

D'après l'annexe III de la directive du 24 juin 1982 du Conseil des Communautés européennes, concernant les risques d'accidents majeurs de certaines activités industrielles (82/501/CEE), modifiée par la directive du 19 mars 1987 (87/216/CEE) et celle du 24 novembre 1988 (88/610/CEE).



## Liste des substances pour l'application de l'article 5 de la directive (concernant l'obligation de notification faite aux fabricants)

Les quantités figurant ci-dessous s'entendent par installation ou par ensemble d'installations du même fabricant lorsque la distance entre les installations n'est pas suffisante pour éviter, dans des circonstances prévisibles, toute aggravation des risques d'accidents majeurs. En tout cas, ces quantités s'entendent par ensemble d'installations du même fabricant si la distance entre les installations est inférieure à environ 500 m.

Dénominations	Quantité (≥)	N° cas	N° CEE
1. 4-Aminodiphényle	1 kg	92-67-1	
2. Benzidine	1 kg	92-87-5	612-042-00-2
3. Sels de benzidine	1 kg		
4. Diméthylnitrosamine	1 kg	62-75-9	
5. 2-Naphthylamine	1 kg	91-59-8	612-022-00-3
6. Béryllium (poudres et/ou composés)	10 kg		
7. Oxyde de bis-(chlorométhyle)	1 kg	542-88-1	603-046-00-5
8. 1,3-Propanesultone	1 kg	1120-71-4	
9. 2,3,7,8-Tétrachlorodibenzo-p-dioxine (TCDD)	1 kg	1746-01-6	
10. Pentoxyde d'arsenic, acide (V) arsénique et ses sels	500 kg		
11. Trioxyde d'arsenic, acide (III) arsénieux et ses sels	100 kg		
12. Hydrogène arséné (arsine)	10 kg	7784-42-1	
13. Chlorure de N,N-diméthylcarbamoyl	1 kg	79-44-7	
14. N-chloroformyl-morpholine	1 kg	15159-40-7	
15. Dichlorure de carbonyle (phosgène)	750 kg	75-44-5	006-002-00-8
16. Chlore	25 t	7782-50-5	017-001-00-7
17. Sulfure d'hydrogène	50 t	7783-06-04	016-001-00-4
18. Acrylonitrile	200 t	107-13-1	608-003-00-4
19. Cyanure d'hydrogène	20 t	74-90-8	006-006-00-X
20. Sulfure de carbone	200 t	75-15-0	006-003-00-3
21. Brome	500 t	7726-95-6	035-001-00-5
22. Ammoniac	500 t	7664-41-7	007-001-00-5
23. Acétylène (éthyne)	50 t	74-86-2	601-015-00-0
24. Hydrogène	50 t	1333-74-0	001-001-00-9
25. Oxyde d'éthylène	50 t	75-21-8	603-023-00-X
26. Oxyde de propylène	50 t	75-56-9	603-055-00-4
27. 2-Cyano-2-propanol (acétone cyanhydrine)	200 t	75-86-5	608-004-00-X
28. 2-Propénal (acroléine)	200 t	107-02-8	605-008-00-3
29. 2-Propène-1-ol (alcool allylique)	200 t	107-18-6	603-015-00-6
30. Allylamine	200 t	107-11-9	612-046-00-4
31. Hydrure d'antimoine (stibine)	100 kg	7803-52-3	
32. Ethylèneimine	50 t	151-56-4	613-001-00-1
33. Formaldéhyde (concentration ≥ 90%)	50 t	50-00-0	605-001-01-2
34. Hydrogène phosphoré (phosphine)	100 kg	7803-51-2	
35. Bromométhane (bromure de méthyle)	200 t	74-83-9	602-002-00-3
36. Isocyanate de méthyle	150 kg	624-83-9	615-001-00-7
37. Oxydes d'azote	50 t	11104-93-1	
38. Sélénite de sodium	100 kg	10102-18-8	
39. Sulfure de bis-(2-chloroéthyle)	1 kg	505-60-2	
40. Phosacétimé	100 kg	4104-14-7	015-092-00-8
41. Plomb tétraéthyle	50 t	78-00-2	
42. Plomb tétraméthyle	50 t	75-74-1	
43. Promurit (3,4-dichlorophényl azothiourée)	100 kg	5836-73-7	
44. Chlorfenvinphos	100 kg	470-90-6	015-071-00-3
45. Crimidine	100 kg	535-89-7	613-004-00-8
46. Ether méthylique monochloré	1 kg	107-30-2	
47. Diméthylamide de l'acide cyanophosphorique	1 t	63917-41-9	

Dénominations	Quantité (≥)	N° cas	N° CEE
48. Carbophénothion	100 kg	786-19-6	015-044-00-6
49. Dialiphos	100 kg	10311-84-9	015-088-00-6
50. Cyanthoathe	100 kg	3734-95-0	015-070-00-8
51. Amiton	1 kg	78-53-5	
52. Oxydisulfoton	100 kg	2497-07-6	015-096-00-X
53. Thiophosphate de 0,0-diéthyle et de S-(éthylsulfonyl-méthyle)	100 kg	2588-05-8	
54. Thiophosphate de 0,0-diéthyle et de S-(éthylsulfonyl-méthyle)	100 kg	2588-06-9	
55. Disulfoton	100 kg	298-04-4	015-060-00-3
56. Déméton	100 kg	8065-48-3	
57. Phorate	100 kg	298-02-2	015-033-00-6
58. Thiophosphate de 0,0-diéthyle et de S-(éthylthio-méthyle)	100 kg	2600-69-3	
59. Dithiophosphate de 0,0-diéthyle et de S-(isopropyl-thiométhyle)	100 kg	78-52-4	
60. Pirazoxone	100 kg	108-34-9	015-023-00-1
61. Fensulfotion	100 kg	115-90-2	015-090-00-7
62. Paraoxone (phosphate de 0,0 diéthyle et de 0-p-nitrophényl)	100 kg	311-45-5	
63. Parathion	100 kg	56-38-2	015-034-00-1
64. Azinphos-éthyl	100 kg	2642-71-9	015-056-00-1
65. Dithiophosphate de 0,0-diéthyle et de S-(propyl-thiométhyle)	100 kg	3309-68-0	
66. Thionazin	100 kg	297-97-2	
67. Carbofuran	100 kg	1563-66-2	006-026-00-9
68. Phosphamidon	100 kg	13171-21-6	015-022-00-6
69. Tirpate (2,4-diméthyl-1,3 dithiolane-2 carboxaldéhyde-0-(méthylcarbamaoyl) oxime	100 kg	26419-73-8	
70. Méviaphos	100 kg	7786-34-7	015-020-00-5
71. Parathion-méthyl	100 kg	298-00-0	015-035-00-7
72. Azinphos-méthyl	100 kg	86-50-0	015-039-00-9
73. Cycloheximide	100 kg	66-81-9	
74. Diphacinone	100 kg	82-66-6	
75. Tétraméthylène disulfotétramine	1 kg	80-12-6	
76. EPN	100 kg	2104-64-5	015-036-00-2
77. Acide 4-fluorobutyrique	1 kg	462-23-7	
78. Sels de l'acide 4-fluorobutyrique	1 kg		
79. Esters de l'acide 4-fluorobutyrique	1 kg		
80. Amides de l'acide 4-fluorobutyrique	1 kg		
81. Acide 4-fluorocrotonique	1 kg	37759-72-1	
82. Sels de l'acide 4-fluorocrotonique	1 kg		
83. Esters de l'acide 4-fluorocrotonique	1 kg		
84. Amides de l'acide 4-fluorocrotonique	1 kg		
85. Acide fluoroacétique	1 kg	144-49-0	607-081-00-7
86. Sels de l'acide fluoroacétique	1 kg		
87. Esters de l'acide fluoroacétique	1 kg		
88. Amides de l'acide fluoroacétique	1 kg		
89. Fluénetil	100 kg	4301-50-2	607-078-00-0
90. Acide 4-fluoro-2-hydroxybutyrique	1 kg		
91. Sels de l'acide 4-fluoro-2-hydroxybutyrique	1 kg		
92. Esters de l'acide 4-fluoro-2-hydroxybutyrique	1 kg		
93. Amides de l'acide 4-fluoro-2-hydroxybutyrique	1 kg		
94. Acide fluorhydrique	50 t	7664-39-3	009-002-00-6
95. Hydroxyacétonitrile (nitrile de l'acide glycolique)	100 kg	107-16-4	



Liste des substances dangereuses

Dénominations	Quantité (≥)	N° cas	N° CEE
96. 1,2,3,7,8,9-hexachlorodibenzo-p-dioxine	100 kg	19408-74-3	
97. Isodrine	100 kg	465-73-6	602-050-00-4
98. Hexaméthylphosphotriamide	1 kg	680-31-9	
99. Juglon (5-hydroxy-1,4-naphtoquinone)	100 kg	481-39-0	
100. Coumafène (Warfarin)	100 kg	81-81-2	607-056-00-0
101. 4,4-méthylène-bis (2-chloroaniline)	10 kg	101-14-4	
102. Diéthion	100 kg	563-12-2	015-047-00-2
103. Aldicarbe	100 kg	116-06-3	006-017-00-X
104. Tétracarbonylnickel (nickel carbonyle)	10 kg	13463-39-3	028-001-00-1
105. Isobenzan	100 kg	297-78-9	602-053-00-0
106. Pentaborane	100 kg	19624-22-7	
107. Diacétate de 1-propène-2-chloro-1,3-diol	10 kg	10118-72-6	
108. Propylèneimine	50 t	75-55-8	
109. Difluorure d'oxygène	10 kg	7783-41-7	
110. Dichlorure de soufre	1 t	10545-99-0	016-013-00-X
111. Hexafluorure de sélénium	10 kg	7783-79-1	
112. Hydrogène sélénis	10 kg	7783-07-5	
113. TEPP	100 kg	107-49-3	015-025-00-2
114. Sulfotep	100 kg	3689-24-5	015-027-00-3
115. Dimefox	100 kg	115-26-4	015-061-00-9
116. Tricyclohexylstannyll-1H-1,2,4-triazole	100 kg	41083-11-8	
117. Triéthylènemélatamine	10 kg	51-18-3	
118. Cobalt sous forme de métal, d'oxydes, de carbonates, de sulfure, en poudre	1 t		
119. Nickel sous forme de métal, d'oxydes, de carbonates, de sulfure, en poudre	1 t		
120. Anabasine	100 kg	494-52-0	
121. Hexafluorure de tellure	100 kg	7783-80-4	
122. Chlorure de trichlorométhylsulfényle	100 kg	594-42-3	
123. 1,2-Dibromoéthane (bromure d'éthylène)	50 t	106-93-4	602-010-00-6
124. Substances inflammables conformément à l'annexe IV, c), i)	200 t		
125. Substances inflammables conformément à l'annexe IV, c), ii)	50 000 t		
126. Diazodinitrophénol	10 t	7008-81-3	
127. Dinitrate de diéthylèneglycol	10 t	693-21-0	603-033-00-4
128. Sels de dinitrophénol	50 t		609-017-00-3
129. 1-Guanyl-4-nitrosamino-guanyl-1-tétrazène	10 t	109-27-3	
130. Bis (2,4,6-trinitrophényl)-amine	50 t	131-73-7	612-018-00-1
131. Nitrate d'hydrazine	50 t	13464-97-6	
132. Nitroglycérine	10 t	55-63-0	603-034-00-X
133. Tétranitrate de pentaérythritol	50 t	78-11-5	603-035-00-5
134. Cyclotriméthylène-trinitramine	50 t	121-82-4	
135. Trinitroaniline	50 t	26952-42-1	
136. 2,4,6-Trinitroanisol	50 t	606-35-9	609-011-00-0
137. Trinitrobenzène	50 t	25377-32-6	609-005-00-8
138. Acide trinitrobenzoïque	50 t	{ 35860-50-5 129-66-8	
139. Chlorotrinitrobenzène	50 t	28260-61-9	610-004-00-X
140. N-Méthyl-2,4,6-N-tétranitroaniline	50 t	479-45-8	612-017-00-6
141. 2,4,6-Trinitrophénol (acide picrique)	50 t	88-89-1	609-009-00-X
142. Trinitrocésol	50 t	28905-71-7	609-012-00-6
143. 2,4,6-Trinitrophénétol	50 t	4732-14-3	
144. 2,4,6-Trinitrorésorcinol (acide styphnique)	50 t	82-71-3	609-018-00-9

Dénominations	Quantité (≥)	N° cas	N° CEE
145. 2,4,6-Trinitrotoluène	50 t	118-96-7	609-008-00-4
146. a) Nitrate d'ammonium <sup>1</sup>	2 500 t	{ 6484-52-2	
b) Nitrate d'ammonium sous la forme d'engrais <sup>2</sup>	5 000 t		
147. Nitrocellulose (contenant plus de 12,6 % d'azote)	100 t	9004-70-0	603-037-00-6
148. Dioxyde de soufre	250 t	7446-09-05	016-011-00-9
149. Acide chlorhydrique (gaz liquéfié)	250 t	7647-01-05	017-002-00-2
150. Substances inflammables conformément à l'annexe IV, c), iii)	200 t		
151. Chlorate de sodium	250 t	7775-09-9	017-005-00-9
152. Peroxyacétate de tertiobutyle (concentration ≥ 70 %)	50 t	107-71-1	
153. Peroxyisobutyrate de tertiobutyle (concentration ≥ 80 %)	50 t	109-13-7	
154. Peroxymaléate de tertiobutyle (concentration ≥ 80 %)	50 t	1931-62-0	
155. Peroxyisopropylcarbonate de tertiobutyle (concentration ≥ 80 %)	50 t	2372-21-6	
156. Peroxydicarbonate de dibenzyle (concentration ≥ 90 %)	50 t	2144-45-8	
157. Peroxybutane de 2,2-bis tertiobutyle (concentration ≥ 70 %)	50 t	2167-23-9	
158. Peroxycyclohexane de 1,1-bis tertiobutyle (concentration ≥ 80 %)	50 t	3006-86-8	
159. Peroxydicarbonate de di-s-butyle (concentration ≥ 80 %)	50 t	19910-65-7	
160. 2,2-dihydroperoxypropane (concentration ≥ 30 %)	50 t	2614-76-8	
161. Peroxydicarbonate de di-n-propyl (concentration ≥ 80 %)	50 t	16066-38-9	
162. 2,3,6,6,9,9-hexaméthyl-1,2,4,5-tetroxacyclononane (concentration ≥ 75 %)	50 t	22397-33-7	
163. Peroxyde de méthyléthylcétone (concentration ≥ 60 %)	50 t	1338-23-4	
164. Peroxyde de méthylisobutylcétone (concentration ≥ 60%)	50 t	37206-20-5	
165. Acide peracétique (concentration ≥ 60 %)	50 t	79-21-0	607-094-00-8
166. Azoture de plomb	50 t	13424-46-9	082-003-00-7
167. 2,4,6-Trinitrorésorcinate de plomb (tricate)	50 t	15245-44-0	609-019-00-4
168. Fulminate de mercure	10 t	{ 20820-45-5 628-86-4	080-005-00-2
169. Cyclotétraméthylène tétranitramine	50 t	2691-41-0	
170. 2,2',4,4',6,6'-Hexanitrostilbène	50 t	20062-22-0	
171. 1,3,5-Triamino-2,4,6-trinitrobenzène	50 t	3058-38-6	
172. Dinitrate de glycol	10 t	628-96-6	603-032-00-9
173. Nitrate d'éthyle	50 t	625-58-1	007-007-00-8
174. Picramate de sodium	50 t	831-52-7	
175. Azoture de baryum	50 t	18810-58-7	
176. Peroxyde de diisobutyryle (concentration ≥ 50 %)	50 t	3437-84-1	
177. Peroxydicarbonate d'éthyle (concentration ≥ 30 %)	50 t	14666-78-5	
178. Peroxypivalate de tertiobutyle (concentration ≥ 77 %)	50 t	927-07-1	
179. Oxygène liquide	2 000 t	7782-44-7	008-001-00-8
180. Trioxyde de soufre	75 t	7446-11-9	

<sup>1</sup> Nitrate d'ammonium et mélanges de nitrate d'ammonium dans lesquels la teneur en azote due au nitrate d'ammonium est supérieure à 28 pour cent en poids; solutions aqueuses de nitrate d'ammonium dans lesquelles la concentration de nitrate d'ammonium est supérieure à 90 pour cent en poids.

<sup>2</sup> Engrais simples à base de nitrate d'ammonium conformes à la directive 80/876/CEE et engrais composés dans lesquels la teneur en azote due au nitrate d'ammonium est supérieure à 28 pour cent en poids (les engrais composés contiennent du nitrate d'ammonium mélangé à du phosphate et/ou à de la potasse).

NB: Les numéros CEE correspondent à ceux de la directive 67/548/CEE, avec ses modifications.

---

## **Annexe 2**

# **Méthode de classement rapide des éléments ou secteurs d'installation par degré de risque**

Reproduit d'après le document de la Direction générale du travail des Pays-Bas, inspection du travail: *Operational safety report: Guideline for the compilation*, «Description of foreseeable hazards and of preventive provisions to control such hazards».



On présentera ci-après une méthode de classement rapide des différents éléments ou secteurs des installations industrielles par degré de risque. Il s'agit d'une version simplifiée de la méthode mise au point par la Dow Chemical Company. Il existe d'autres méthodes, généralement d'autant plus sûres, quant à l'évaluation des risques, qu'elles sont plus poussées.

## 1. Décomposition de l'installation en éléments ou en secteurs

La première chose à faire est de décomposer l'installation en éléments ou en secteurs logiques indépendants. En général, il est possible de définir logiquement un élément ou un secteur d'après la nature du processus qui s'y déroule. Dans certains cas, c'est un élément ou un secteur séparé des autres par un espace ou une enceinte protectrice. L'élément peut être aussi un appareil, un instrument, une partie d'installation ou un système pouvant présenter un risque particulier. On peut donner les exemples suivants:

- unité d'alimentation;
- unité de chauffage/refroidissement;
- réacteur;
- unité de compression;
- unité de distillation;
- unité de lavage;
- système collecteur;
- unité de filtration;
- réservoir-tampon;
- tour de prilling;
- unité de destruction;
- installation de brûlage;
- système de purge;
- unité de récupération;
- unité d'extinction, etc.

Dans les installations de stockage, chaque réservoir, trémie ou silo doit être considéré comme un élément indépendant.

Lorsque des substances dangereuses sont stockées dans des emballages unitaires (sacs,

bouteilles, fûts, etc.), l'ensemble des unités entreposées dans un endroit est considéré comme un élément.

## 2. Détermination de l'indice d'incendie et d'explosion et de l'indice de toxicité

Il est possible de déterminer, pour chaque élément ou secteur de l'installation où des substances inflammables ou toxiques sont présentes, un indice d'incendie et d'explosion F et/ou un indice de toxicité T, à l'aide de la méthode exposée ci-après, dérivée de la méthode mise au point par la Dow Chemical Company (Etats-Unis)<sup>1</sup>.

L'indice d'incendie et d'explosion F est donné par la formule suivante:

$$F = FM (1 + RGP_{tot}) (1 + RPP_{tot}),$$

où:

FM = facteur matériel correspondant au potentiel d'énergie des substances dangereuses présentes (d'après les données de l'Association nationale de protection contre l'incendie des Etats-Unis (National Fire Protection Association, NFPA) (voir section 3));

$RGP_{tot}$  = risques généraux du processus, coefficient total de majoration applicable pour les risques généraux inhérents au processus (selon la nature et les caractéristiques de celui-ci (voir section 4));

$RPP_{tot}$  = risques particuliers du processus, coefficient total de majoration applicable pour les risques propres à l'installation considérée (conditions de déroulement du processus, nature et importance de l'installation (voir section 5)).

L'indice de toxicité T est donné par la formule suivante:

$$T = \frac{T_h + T_m}{100} (1 + RGP_{tot} + RPP_{tot}),$$

où:

$T_h$  = facteur de toxicité (d'après les données de la NFPA (voir section 6));

**Tableau 2.1 Détermination de l'indice d'incendie et d'explosion F et de l'indice de toxicité T**

		Nom	Date	
Lieu	Unité	N° de l'évaluation Responsable		
SUBSTANCES/PROCESSUS*				
INDICE D'INCENDIE ET D'EXPLOSION F				
-----				
FACTEUR MATÉRIEL FM (voir tableau 2.2 ou tableau annexe)		Section 3		
RISQUES GÉNÉRAUX DU PROCESSUS (RGP)		Section 4	Coefficient de majoration	Coefficient de majoration utilisé**
Réactions exothermiques		4.1		
Réactions endothermiques		4.2	0,20	
Manutention et transvasement		4.3		
Eléments en local fermé		4.4		
Total: RGP <sub>tot</sub> (1 + RGP <sub>tot</sub> ) × facteur matériel FM = sous-facteur				
RISQUES PARTICULIERS DU PROCESSUS (RPP)		Section 5		
Température (appliquer uniquement le coefficient maximal)		5.1		
– supérieure au point d'éclair			0,25	
– supérieure à la température d'ébullition			0,60	
– supérieure à la température d'auto-allumage			0,75	
Pression basse (atmosphérique/subatmosphérique)		5.2		
– risque de formation de peroxyde			0,50	
– systèmes collecteurs d'hydrogène			0,50	
– distillation sous vide à moins de 0,67 bar (abs.)			0,75	
Processus dans la plage d'inflammabilité (ou à proximité)		5.3		
– stockage extérieur de liquides inflammables ou de gaz de pétrole liquéfiés			0,50	
– emploi d'instruments et/ou de dispositifs de purge pour rester hors des limites d'inflammabilité			0,75	
– continuellement dans la plage d'inflammabilité			1,00	
Pression élevée		5.4		
Basse température		5.5		
– entre 0 et -30°C			0,30	
– au-dessous de -30°C			0,50	
Quantité de substances inflammables		5.6		
– dans le processus				
– stockées				
Corrosion, érosion (fuites)		5.7		
Joints et garnitures (fuites)		5.8		
Total: RPP <sub>tot</sub> (1 + RPP <sub>tot</sub> ) × sous-facteur = indice d'incendie et d'explosion F				
INDICE DE TOXICITÉ T		Section 6		
-----				
$\frac{T_h + T_m}{100} \times (1 + RGP_{tot} + RPP_{tot}) = \text{indice de toxicité T}$				
* Le terme comprend la manutention et l'entreposage.				
** Pour les coefficients de majoration à appliquer, voir sections 4 et 5. Pour certains risques, le coefficient est fixe et peut être repris de la colonne précédente «coefficient de majoration».				

$T_m$  = majoration en fonction de la concentration maximale admissible (voir section 6);

$RGP_{tot}$  et  $RPP_{tot}$ : mêmes coefficients que pour la détermination de l'indice d'incendie et d'explosion.

Pour déterminer les indices F et T, on peut se servir de la fiche reproduite au tableau 2.1.

S'il y a, dans l'élément ou le secteur considéré, plusieurs substances dangereuses, il faut calculer l'indice F et/ou l'indice T pour chacune. Pour déterminer le classement de l'élément ou du secteur du point de vue du degré de risque, on utilise les valeurs les plus fortes trouvées pour F et/ou T.

Les substances présentes à des concentrations inférieures à 5 pour cent (en poids pour les liquides et les solides, en volume pour les gaz) ne sont pas prises en considération.

### 3. Détermination du facteur matériel FM

Le facteur matériel est le point de départ du calcul de l'indice d'incendie et d'explosion. Il correspond au potentiel d'énergie de la substance présente la plus dangereuse (substance ou mélange de substances). Il est exprimé par un nombre allant de 0 à 40 (potentiel d'énergie croissant).

Le facteur matériel est déterminé d'après deux propriétés: l'inflammabilité de la substance et sa réactivité au contact de l'eau (une substance est considérée comme inflammable quand la température du processus est égale ou supérieure à son point d'éclair). Fondé sur les valeurs établies par la NFPA, le tableau annexe donne ce facteur pour toute une série de substances. Il devrait être déterminé pour chacune des substances dangereuses présentes dans un élément ou un secteur de l'installation.

Le tableau 2.2 permet d'obtenir le facteur matériel à partir des indices d'inflammabilité et de réactivité. Prenons l'exemple de l'oxyde d'éthylène; avec un indice d'inflammabilité de 4 et un indice de réactivité de 3, on obtient un facteur matériel de 29. Pour le chlorostyrène, on a: indice d'inflammabilité: 2; indice de réactivité: 2; facteur matériel: 24.

Tableau 2.2 Détermination du facteur matériel

		Température de décomposition adiabatique $T_d$ K											
		< 830	830-935	935-1010	1010-1080	>1080							
		Réactivité											
		$N_r$											
		0	1	2	3	4							
Point d'éclair $^{\circ}C$	Chaleur de combustion $kJ\ bar/mol$	$N_i$	Inflammabilité										
								0	0	14	24	29	40
								1	4	14	24	29	40
								2	10	14	24	29	40
								3	16	16	24	29	40
4	21	21	24	29	40								
Facteur matériel						FM							

Pour obtenir l'indice d'inflammabilité  $N_i$ , on peut partir, soit du point d'éclair, soit de la chaleur de combustion  $C_{cv}$ . On obtient la valeur de  $C_{cv}$  en multipliant la chaleur de combustion en  $kJ/mol$  par la pression de vapeur à 300 K ( $27^{\circ}C$ ) en bar. Pour les substances dont le point d'ébullition est inférieur à 300 K, on utilise 1,0 comme pression de vapeur. Pour déterminer l'indice de réactivité  $N_r$ , on prend la température de décomposition adiabatique  $T_d$  en K.

Prenons l'exemple de l'oxyde de propylène:

- point d'éclair: inférieur à  $-20^{\circ}C$ ;
- chaleur de combustion: 30,703  $kJ/g$ ;
- poids moléculaire: 58;
- chaleur de combustion:  $30,703 \times 58 = 1780,78\ kJ/mol$ ;
- pression de vapeur: 0,745 bar ( $27^{\circ}C$ );
- température de décomposition:  $675^{\circ}C$ .

Pour un point d'éclair inférieur à  $-20^{\circ}C$ , l'indice d'inflammabilité est de 4. On le vérifie en calculant la chaleur de combustion  $C_{cv}$ :  $C_{cv} = 1780,78 \times 0,745 = 1326\ kJbar/mol$  environ. Cette valeur donne un indice d'inflammabilité de 4. La température de décomposition adiabatique K est de:  $T_d = 675 + 273 = 948\ K$ . Cette valeur donne un indice de réactivité de 2. En se reportant au tableau 2.2, on arrive à un

facteur matériel de 24 pour l'oxyde de propylène.  
(Voir tableau annexe et note 2.)

## 4. Détermination des risques généraux du processus

### 4.1. Réactions exothermiques

4.1.1. Un coefficient de majoration de 0,20 est appliqué pour les processus de:

- combustion: combustion d'un combustible solide, liquide ou gazeux avec l'air (comme dans les fours).

4.1.2. Un coefficient de 0,30 est appliqué pour les réactions suivantes:

- hydrogénation: addition d'atomes d'hydrogène aux deux extrémités d'une liaison double ou triple; éventualité: utilisation d'hydrogène sous pression à une température relativement élevée;
- hydrolyse: réaction d'un composé avec l'eau, comme dans la production d'acide sulfurique ou d'acide phosphorique à partir d'oxydes;
- alkylation: introduction d'un radical alkyle dans un composé pour former divers composés organiques;
- isomérisation: réarrangement des atomes dans une molécule organique, tel que la transformation d'une chaîne linéaire en une chaîne ramifiée ou le déplacement d'une liaison double; le risque dépend de la stabilité et de la réactivité des composés chimiques en jeu (peut exiger l'application d'un coefficient de majoration de 0,50);
- sulfonation: introduction d'un radical  $\text{SO}_3\text{H}$  dans une molécule organique par une réaction avec l'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- neutralisation: réaction entre un acide et une base, produisant un sel et de l'eau.

4.1.3. Un coefficient de majoration de 0,50 est appliqué pour les réactions suivantes:

- estérification: réaction entre un acide et un alcool ou un hydrocarbure non saturé; le risque est modéré, sauf lorsque l'acide est très réactif ou que les substances en réaction sont instables (peut exiger l'application d'un coefficient de 0,75 ou 1,25);

- oxydation: combinaison de l'oxygène avec certaines substances, la réaction étant contrôlée et ne débouchant pas sur la formation de dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$  et d'eau, comme dans le cas de la combustion (lorsque des oxydants puissants tels que les chlorates, l'acide nitrique, les acides et sels hypochloriques sont utilisés, porter le coefficient à 1,0);

- polymérisation: addition de molécules qui forment des chaînes ou d'autres structures; la chaleur doit être dissipée pour maintenir la réaction sous contrôle;
- condensation: soudure de deux ou plusieurs molécules organiques, avec élimination d'eau, de chlorure d'hydrogène  $\text{HCl}$  ou d'autres composés.

4.1.4. Un coefficient de majoration de 1,00 est appliqué pour le processus:

- d'halogénéation: introduction d'atomes d'halogène (fluor, chlore, brome ou iode) dans une molécule organique, réaction à la fois fortement exothermique et corrosive.

4.1.5. Un coefficient de 1,25 est appliqué pour le processus:

- de nitration: remplacement d'un atome d'hydrogène dans un composé par un groupe nitré. Il s'agit d'une réaction fortement exothermique qui peut former des sous-produits explosifs; les dispositifs de régulation de la température doivent être fiables; les impuretés risquent d'avoir une action catalytique, avec poursuite des réactions d'oxydation ou de nitration, ce qui peut entraîner une décomposition rapide.

### 4.2. Réactions endothermiques

Pour les réactions endothermiques, un coefficient de majoration de 0,20 est appliqué.

Exemples de réactions endothermiques:

- calcination: chauffage d'une matière pour en extraire l'humidité ou des substances volatiles;
- électrolyse: séparation des ions par le courant électrique; risque: présence de produits inflammables ou hautement réactifs;
- pyrolyse ou craquage: décomposition thermique de macromolécules à l'aide de



températures et de pressions élevées et d'un catalyseur; la régénération du catalyseur par processus de combustion séparé peut présenter des risques.

Lorsqu'on utilise un processus de combustion comme source d'énergie pour la calcination, la pyrolyse ou le craquage, le coefficient de majoration est doublé: 0,40.

#### 4.3. Opérations de manutention et de transvasement

- Chargement et déchargement de substances dangereuses, particulièrement pour les risques inhérents au branchement et au débranchement des tuyauteries des camions-citernes, wagons-citernes, navires-citernes: coefficient de majoration: 0,50.
- Entreposage en magasin ou à découvert (à l'exclusion du stockage en réservoirs) de substances dangereuses en fûts, bouteilles, citernes mobiles, etc.: substances entreposées à une température inférieure à leur température d'ébullition (à la pression atmosphérique): coefficient: 0,30; substances entreposées à une température supérieure à leur température d'ébullition (à la pression atmosphérique): coefficient: 0,60.

Les coefficients de majoration ci-dessus sont appliqués à cause du risque d'exposition ou du risque d'incendie lors des manutentions. Ils sont applicables quelle que soit la quantité en jeu (les coefficients applicables en fonction de la quantité sont donnés dans la section 5.6).

#### 4.4. Eléments d'installation en local fermé

Les éléments d'installation où sont traitées ou stockées des substances dangereuses présentent, en local fermé, un risque accru, à cause de l'absence de ventilation naturelle:

- liquides inflammables conservés à une température supérieure au point d'éclair mais inférieure à la température d'ébullition (à la pression atmosphérique): coefficient: 0,30;
- liquides inflammables ou gaz de pétrole liquéfiés conservés à une température supérieure à la température d'ébullition (à la pression atmosphérique): coefficient: 0,60.

#### 4.5. Opérations diverses

Opérations de conditionnement, d'emballage de fûts, de sacs ou de caisses avec des produits dangereux, utilisation de centrifugeuses, mélange de charges dans des appareils ouverts, conduite de plusieurs processus dans le même appareil: coefficient: 0,50.

### 5. Détermination des risques particuliers du processus

#### 5.1. Température

- Processus conduit, opérations de manutention effectuées à une température supérieure au point d'éclair de la substance: coefficient de majoration: 0,25.
- Processus conduit, opérations de manutention effectuées à une température supérieure à la température d'ébullition (à la pression atmosphérique) de la substance: coefficient: 0,60.
- Pour des substances telles que l'hexane et le sulfure de carbone, qui ont une température d'auto-allumage basse et peuvent s'enflammer au contact de canalisations de vapeur chaudes: coefficient: 0,75.

#### 5.2. Processus conduits à une faible pression

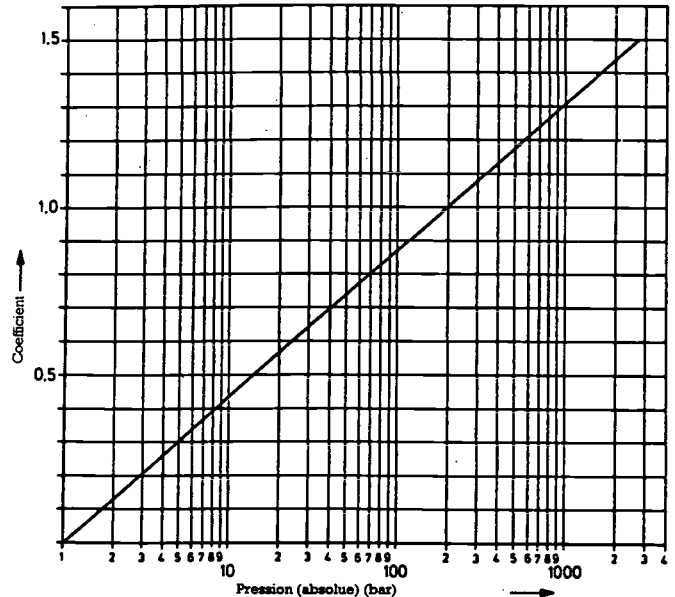
Il n'est pas appliqué de coefficient de majoration pour les processus conduits à la pression atmosphérique ou à une pression inférieure à la pression atmosphérique, à condition qu'il n'y ait pas de risque à craindre en cas d'entrée d'air dans le système par défaut d'étanchéité. Exemple: distillation sous vide de glycols.

- Processus où l'entrée d'air dans le système peut entraîner un risque: coefficient de majoration: 0,50. Exemples: procédés mettant en jeu des substances pyrophoriques, des dioléfines avec risque de formation de peroxyde et de polymérisation en présence d'un catalyseur.
- Systèmes collecteurs d'hydrogène: coefficient: 0,50.
- Distillation sous vide à une pression inférieure à 0,67 bar (pression absolue), si l'entrée d'air ou de substances contaminatrices dans le système peut entraîner un risque: coefficient: 0,75.

### 5.3. Processus conduits dans la plage d'inflammabilité (ou à proximité)

- Stockage de substances inflammables en réservoirs extérieurs si le mélange gaz-air au-dessus du liquide se situe normalement dans la plage d'inflammabilité ou à proximité: coefficient de majoration: 0,50.
- Processus se déroulant à proximité des limites d'inflammabilité ou nécessitant l'emploi d'instruments et/ou de dispositifs de purge à l'air ou à l'azote pour rester hors des limites d'inflammabilité: coefficient: 0,75. Exemples: oxydation du toluène pour la production d'acide benzoïque, dissolution du caoutchouc, oxydation directe pour la production d'oxyde d'éthylène.
- Processus se déroulant normalement dans la plage d'inflammabilité: coefficient: 1,00. Exemple: distillation et stockage de l'oxyde d'éthylène.

Figure 2.1 Processus conduits à une pression supérieure à la pression atmosphérique: coefficient de majoration à appliquer



### 5.4. Processus conduits à une pression supérieure à la pression atmosphérique

Pour les processus conduits à une pression supérieure à la pression atmosphérique, il y a lieu d'appliquer un coefficient de majoration qui augmente en fonction de la pression. Ce coefficient est donné par la figure 2.1.

Le coefficient (Y) peut aussi être calculé à l'aide de la formule:

$$Y = 0,435 \log P$$

où P est la pression absolue, exprimée en bar, à laquelle est réglé le dispositif de sûreté.

La courbe de la figure 2.1 est établie pour les liquides inflammables et combustibles; pour d'autres substances, elle doit être corrigée comme suit:

- produits à forte viscosité tels que les goudrons, le bitume, les huiles de lubrification lourdes et les asphaltes: multiplier le coefficient par 0,7;
- gaz comprimés: multiplier le coefficient par 1,2;
- gaz inflammables liquéfiés sous pression: multiplier le coefficient par 1,3.

Il n'est pas appliqué de coefficient de majoration pour les opérations d'extrusion ou de moulage.

### 5.5. Processus conduits à basse température

- Processus conduits à une température comprise entre 0°C et -30°C: coefficient: 0,30.
- Processus conduits à une température inférieure à -30°C: coefficient: 0,50.

Le but de cette majoration est de tenir compte du risque de fragilisation des matériaux. En outre, en cas de fuite, le liquide froid entre en contact avec le milieu relativement chaud, ce qui risque d'entraîner une forte évaporation.

### 5.6. Quantité de substances inflammables

#### Substances mises en œuvre dans le processus

Pour obtenir le coefficient de majoration, on multiplie la quantité de substance mise en œuvre dans le processus, en kg, par la chaleur de combustion, en kJ/kg. La figure 2.2 donne le coefficient à appliquer.

Ce coefficient (Y) peut aussi être calculé à l'aide de la formule:

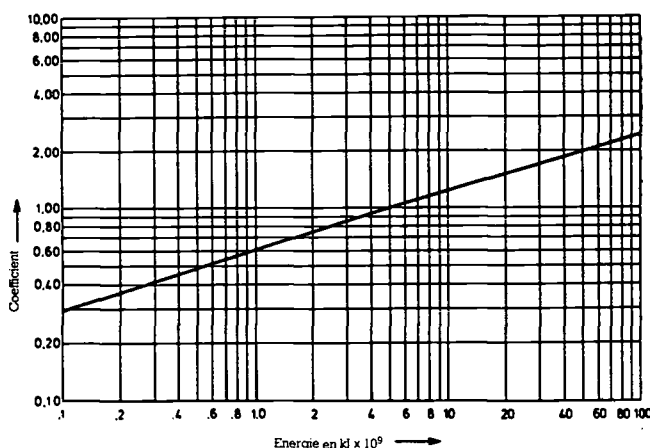
$$\log Y = 0,305 \log eQ - 2,965,$$

où e = chaleur de combustion de la substance en kJ/kg;

Q = quantité de substance en kg.

On prendra, pour les calculs, la quantité de substance présente dans le plus grand élément de l'installation ou le plus grand groupe d'éléments reliés les uns aux autres, puisque c'est la totalité de cette quantité qui pourrait s'échapper en cas d'incident.

**Figure 2.2 Mise en œuvre de substances inflammables dans le processus: coefficient de majoration à appliquer en fonction du potentiel d'énergie**



### Substances stockées

Le coefficient de majoration à appliquer pour les substances inflammables stockées dans des réservoirs est donné par la figure 2.3, qui comporte deux courbes, l'une pour les gaz liquéfiés sous pression (courbe A), l'autre pour les liquides inflammables (courbe B).

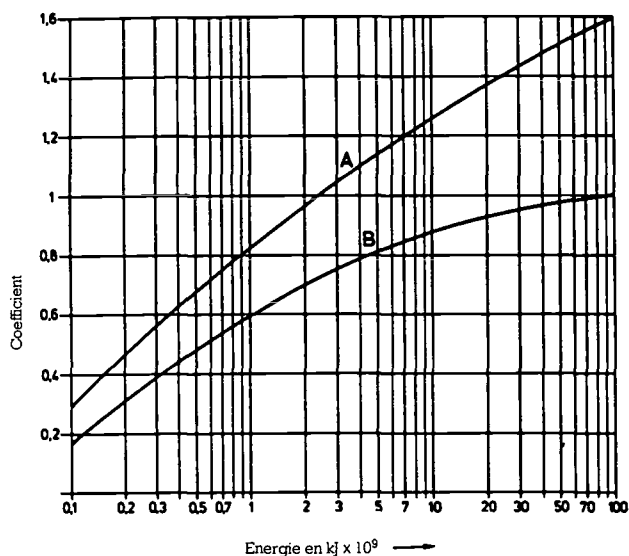
Ce coefficient (Y) peut aussi être calculé comme suit: pour les gaz liquéfiés sous pression (courbe A):

$$Y = \sqrt{185 - \left\{ \log \left( \frac{eQ \times 10^{-9}}{700\,000} \right) \right\}^2} - 11,45;$$

Pour les liquides inflammables (courbe B):

$$Y = \sqrt{55 - \left\{ \log \left( \frac{eQ \times 10^{-9}}{270} \right) \right\}^2} - 6,4.$$

**Figure 2.3 Stockage de substances inflammables: coefficient de majoration à appliquer en fonction du potentiel d'énergie**



Courbe A: gaz liquéfiés sous pression.  
Courbe B: liquides inflammables.

### 5.7. Corrosion, érosion (risque de fuite)

Pour ce risque, il convient de prendre en compte la corrosion intérieure et la corrosion extérieure, et notamment les facteurs suivants:

- influence sur la corrosion de petites impuretés présentes dans les fluides;
- endommagement des peintures ou des revêtements de protection extérieurs;
- endommagement des revêtements intérieurs (plastique, briques, etc.) aux points de jointure ou de perforation.

On appliquera les coefficients de majoration suivants:

- vitesse de corrosion inférieure à 0,5 mm/an, avec risque de formation de piqûres ou d'érosion localisée: 0,10;
- vitesse de corrosion supérieure à 0,5 mm/an mais inférieure à 1 mm/an: 0,20;
- vitesse de corrosion supérieure à 1 mm/an: 0,50.

### 5.8. Joints et garnitures (risque de fuite)

Les joints, garnitures, presse-étoupe, etc., peuvent être le siège de fuites, notamment lorsqu'ils sont soumis à des variations de température ou de pression. Il faut appliquer un coefficient de majoration, compte tenu du type d'élément et des matériaux dans lesquels il est réalisé:

- garnitures de pompes et presse-étoupe pouvant être le siège de faibles fuites: coefficient: 0,10;
- processus posant régulièrement des problèmes d'étanchéité au niveau des pompes et des joints: coefficient: 0,20;
- fluides à fort pouvoir d'infiltration, matières abrasives en suspension provoquant continuellement des problèmes d'étanchéité: 0,40;
- regards, dispositifs à soufflet, joints de dilatation: coefficient: 1,50.

## 6. Détermination de l'indice de toxicité T

L'indice de toxicité T est fondé sur les indices établis par la NFPA pour les risques d'atteinte à la santé. Le tableau annexe donne ces indices, qui vont de 0 à 4, pour un certain nombre de substances. Pour les substances ne figurant pas dans ce tableau, on se référera aux publications de la NFPA.

Le tableau 2.3 convertit les indices de la NFPA en un facteur de toxicité  $T_h$ .

**Tableau 2.3. Détermination du facteur de toxicité ( $T_h$ ) d'après les indices de risque de la NFPA**

Indice NFPA	Facteur de toxicité $T_h$
0	0
1	50
2	125
3	250
4	325

Le facteur de toxicité doit être corrigé en fonction de la concentration maximale admissible (CMA) de la substance au moyen d'un coefficient de majoration  $T_m$ , donné par le tableau 2.4.

**Tableau 2.4 Facteur de toxicité: coefficient de majoration ( $T_m$ ) en fonction de la concentration maximale admissible**

CMA en ppm	Coefficient $T_m$
≤5	125
5-50	75
>50	50

L'indice de toxicité (T) se calcule de la manière suivante:

$$T = \frac{T_h + T_m}{100} (1 + RGP_{tot} + RPP_{tot}),$$

où

$RGP_{tot}$  = coefficient total de majoration pour les risques généraux du processus (voir section 4);

$RPP_{tot}$  = coefficient total de majoration pour les risques particuliers du processus (voir section 5).

On retient, comme indice de toxicité, l'indice obtenu pour la substance donnant la valeur  $T_h + T_m$  la plus élevée.

## 7. Classement par degré de risque

Les éléments ou secteurs de l'installation sont classés dans trois catégories, par degré croissant de risque, en fonction de l'indice d'incendie et d'explosion F et/ou de l'indice de toxicité T, comme l'indique le tableau 2.5, la catégorie I correspondant au potentiel de risque le plus bas, la catégorie III, au potentiel de risque le plus élevé.

**Tableau 2.5. Catégories de risque pour le classement des éléments ou secteurs d'installation**

	Indice d'incendie et d'explosion F	Indice de toxicité T
Catégorie I	F<65	T<6
Catégorie II	65≤F<95	6≤T<10
Catégorie III	F≥95	T≥10

Si les deux risques sont présents et si à l'indice d'incendie et d'explosion correspond une catégorie, et à l'indice de toxicité une autre, il faut retenir la catégorie la plus élevée.

### Notes

<sup>1</sup> Dow Chemical Company: *Fire and explosion index hazard classification guide* (Midland, Michigan, 4<sup>e</sup> édition, mai 1976).

<sup>2</sup> National Fire Protection Association (Etats-Unis): *Identification of the fire hazards of materials*, NFPA Nos. 704M, 325M et 49.

### Tableau annexe. Indices de risque et facteurs matériels

Facteurs matériels dérivés des indices de risque établis par l'Association nationale de protection contre l'incendie des Etats-Unis (National Fire Protection Association, NFPA).

Substance	Indices NFPA			Facteur matériel	Substance	Indices NFPA			Facteur matériel
	Atteinte à la santé	Incendie	Réactivité			Atteinte à la santé	Incendie	Réactivité	
Acétaldéhyde	2	4	2	24	Sulfure de carbone	2	3	0	16
Acide acétique	2	2	1	14	Oxyde de carbone	2	4	0	21
Anhydride acétique	2	2	1	14	Dioxyde de chlore	3	4	3	29
Acétone	1	3	0	16	Chlorobutane-1	2	3	0	16
Acétonitrile	2	3	1	16	Chloroforme	2	0	0	0
Chlorure d'acétyle	3	3	2	24	Ether éthylique de chlorométhyle	2	1	0	4
Peroxyde d'acétyle	1	2	4	40	o-Chlorophénol	3	2	0	10
Acide acétylsalicylique	1	1	0	4	Chloropicrine	4	0	3	29
Acétylène	1	4	3	29	Chloropropane-1	2	3	0	16
Acroléine	3	3	2	24	Chlorostyrène	2	2	2	24
Acide acrylique	3	2	2	24	Coumarine	2	1	0	4
Acrylamide	2	1	1	14	o-Crésol	2	2	0	10
Acrylonitrile	4	3	2	24	Cumène	2	3	0	16
Alcool allylique	3	3	1	16	Hydroperoxyde de cumène	1	2	4	40
Allylamine	3	3	1	16	Acide cyanurique	2	0	1	14
Chlorure d'allyle	3	3	1	16	Cyclobutane	1	4	0	21
Ether allylique	3	3	2	24	Cyclohexane	1	3	0	16
Ammoniac	3	1	0	4	Cyclohexanol	1	2	0	10
Acétate de tert-amyle	1	3	0	16	Cyclopropane	1	4	0	21
Aniline	3	2	0	10	Ether dibutylique	2	3	0	16
Stéarate de baryum	0	1	0	4	o-Dichlorobenzène	2	2	0	10
Aldéhyde benzoïque	2	2	0	10	p-Dichlorobenzène	2	2	0	10
Benzène	2	3	0	16	Dichloréthylène-1,2	2	3	2	24
Acide benzoïque	2	1	0	4	Dichloropropène-1,2	2	3	0	16
Chlorure de benzoyle	3	2	1	14	Dichloropropène-2,3 brut	2	3	0	16
Peroxyde de benzoyle	1	4	4	40	Acide dichloropropène-3,5 salicylique	0	1	0	4
Bisphénol A	2	1	0	4	Peroxyde de dicumyle	0	2	3	29
Bromobenzène	2	2	0	10	Dicyclopentadiène	1	3	1	16
Butane	1	4	0	21	Diéthylamine	2	3	0	16
Butadiène-1,3	2	4	2	24	Diéthylbenzène	2	2	0	10
Butanol	2	3	0	16	Carbonate de diéthyle	2	3	1	16
Butène-1	1	4	0	21	Peroxyde de diéthyle	0	4	4	40
Acétate de n-butyle	1	3	0	16	Diéthanolamine	1	1	0	4
Alcool butylique	1	3	0	16	Diéthylène glycol	1	1	0	4
n-Butylamine	2	3	0	16	Diéthylaminetriamine	3	1	0	4
Bromure de butyle	2	3	0	16	Ether diéthylique	2	4	1	21
Ether n-butylque	2	3	0	16	Diisobutylène	1	3	0	16
Hydroperoxyde de tert-butyle	1	4	4	40	Diisopropylbenzène	0	2	0	10
Nitrate de butyle	1	3	3	29	Diméthylamine (anhydrique)	3	4	0	21
Peroxyde de tert-butyle	1	3	3	29	Diméthyl-2,2 propanol	2	3	0	16
Butylène	1	4	0	21	n-Dinitrobenzène	3	1	4	40
Oxyde de butylène	3	3	2	24					
Carbure de calcium	1	4	2	24					
Stéarate de calcium	0	1	0	4					

Substance	Indices NFPA			Facteur matériel
	Atteinte à la santé	Incendie	Réactivité	
Dinitro-2,4 phénol	3	1	4	40
m-Dioxane	2	3	0	16
Dioxolane	2	3	2	24
Oxyde de diphenyle	1	1	0	4
Dipropylèneglycol	0	1	0	4
Peroxyde de di-tert-butyle	1	3	4	40
Divinylbenzène	1	2	2	24
Ether divinylque	2	3	2	24
Dowtherm A (caloporteur)	2	1	0	4
Epichlorhydrine	3	3	2	24
Ethane	1	4	0	21
Ethanolamine-2	2	2	0	10
Acétate d'éthyle	1	3	0	16
Acrylate d'éthyle	2	3	2	14
Ethanol	0	3	0	16
Ethylbenzène	2	3	0	16
Bromure d'éthyle	2	3	0	16
Chlorure d'éthyle	2	4	0	21
Ethylène	1	4	2	24
Carbonate d'éthylène	2	1	1	14
Ethylènediamine	3	2	0	10
Dichlorure d'éthylène	2	3	0	16
Ethylèneglycol	1	1	0	4
Oxyde d'éthylène	2	4	3	29
Ethylènimine	3	3	2	24
Nitrate d'éthyle	2	4	4	40
Ethylamine	3	4	0	21
Formaldéhyde	2	4	0	21
Gazole	0	2	0	10
Glycérine	1	1	0	4
Heptane	1	3	0	16
Hexane	1	3	0	16
n-Hexanol	2	2	0	10
Hydrazine	3	3	2	24
Hydrogène	0	4	0	21
Hydrogène sulfuré	3	4	0	21
Isobutane	1	4	0	21
Alcool isobutylique	1	3	0	16
Isopentane	1	4	0	21
Isopropanol	1	3	0	16
Acétate isopropylique	1	3	0	16
Chlorure isopropylique	2	4	0	21
Ether isopropylique	2	3	1	16
Kérosène aviation	1	3	0	16

Substance	Indices NFPA			Facteur matériel
	Atteinte à la santé	Incendie	Réactivité	
Peroxyde de lauroyle	0	2	3	29
Anhydride maléique	3	1	1	14
Magnésium	0	1	2	24
Méthane	1	4	0	21
Méthanol	1	3	0	16
Acétate de méthyle	1	3	0	16
Méthylacétylène	2	4	2	24
Méthylamine	3	4	0	21
Chlorure de méthyle	2	4	0	21
Chloracétate de méthyle	2	2	1	14
Méthylcyclohexane	2	3	0	16
Chlorure de méthylène	2	0	0	0
Ether méthylique	2	4	0	21
Butanone-1 (ou Méthyléthylcétone)	1	3	0	16
Méthylhydrazine	3	3	1	16
Méthylisobutylcétone	2	3	0	16
Mercaptan de méthyle	2	4	0	21
Méthylstyrène	2	2	0	10
Monochlorobenzène	2	3	0	16
Monoéthanolamine	2	2	0	10
Naphte	1	3	0	16
Naphtalène	2	2	0	10
Nitroéthane	1	3	3	29
Nitroglycérine	2	2	4	40
Nitrométhane	1	3	4	40
Nitropropane	1	2	3	29
Nitrotoluène-2	2	1	4	40
Octane	0	3	0	16
Pentane	1	4	0	21
Acide peracétique	3	2	4	40
Pétrole	0	1	0	4
Phénol	3	2	0	10
p-Phénylphénol	3	1	0	4
Perchlorate de potassium	1	0	2	24
Propane	1	4	0	21
Alcool propargylique	3	3	3	29
Bromure propargylique	4	3	4	40
Propionitrile	4	3	1	16
Propylène	1	4	1	21
Dichlorure de propylène	2	3	0	16
Propylèneglycol	0	1	0	4
Oxyde de propylène	2	4	2	24
Dicromate de sodium	1	0	1	14
Acide stéarique	1	1	0	4

Substance	Indices NFPA			Facteur matériel
	Atteinte à la santé	Incendie	Réactivité	
Styrène	2	3	2	24
Soufre	2	1	0	4
Dioxyde de soufre	2	0	0	0
Toluène	2	3	0	16
Trichloro-1,2,3 benzène	2	1	0	4
Trichloro-1,1,1 éthane	3	1	0	4
Trichloréthylène	2	1	0	4
Triéthanolamine	2	1	1	14
Triéthylèneglycol	1	1	0	4
Triéthylaluminium	3	3	3	29
Triisobutylaluminium	3	3	3	29
Triisopropanolamine	2	1	0	4
Triisopropylbenzène	2	3	0	16
Triméthylaluminium	3	3	3	29
Triméthylamine	2	4	0	21
Tripropylamine	2	2	0	10
Acétate de vinyle	2	3	3	24
Vinylacétylène		4	3	29
Ether de vinylallyle	2	3	3	24
Chlorure de vinylbenzoyle	2	1	0	4
Chlorure de vinyle	2	4	1	21
Vinylcyclohexane	2	3	2	24
Ether vinyéthylique	2	4	2	24
Vinytoluène	2	2	1	14
Chlorure de vinylidène	2	4	2	24
Xylène	2	3	0	16
Stéarate de zinc	0	1	0	4





---

## Annexe 3

# L'étude des dangers et des conditions de fonctionnement

Guide publié à l'origine par le Conseil de la sécurité et de l'hygiène dans l'industrie chimique de l'Association de l'industrie chimique du Royaume-Uni (Chemical Industries Association, Chemical Industry Safety and Health Council: *A guide to hazard and operability studies* (Londres, 1977)); texte français établi et publié avec l'autorisation de la Chemical Industries Association Ltd., qui détient le copyright (voir section 6).



## Avant-propos

L'industrie chimique est une industrie engagée dans l'innovation. Elle ne cesse de lancer de nouveaux procédés et de nouveaux produits qui obligent parfois à travailler dans des conditions extrêmes de température, de pression, d'échelle d'exploitation ou de toxicité. Les grandes innovations entraînent elles-mêmes toute une série de petits changements au fur et à mesure que les connaissances progressent et que les procédés se perfectionnent.

L'industrie chimique est de plus en plus consciente de la nécessité d'une approche systématique de la sécurité, notamment pour la conception des installations. La population, de son côté, demande avec de plus en plus d'insistance une amélioration des conditions de sécurité.

Toute innovation comporte le risque qu'ici ou là les choses ne se passent pas comme prévu et que l'incident ait, en un point ou en un autre des installations, des répercussions graves. La méthode connue sous le nom de **Hazard and Operability Study** – qui sera appelée ici étude des dangers et des conditions de fonctionnement – est conçue précisément pour étudier ces risques de «déraillement». Elle a été définie comme suit:

Examen critique systématique de la conception technique et du fonctionnement prévus des installations en vue de déterminer les risques de dysfonctionnement des différents éléments de l'installation et les conséquences qui en découleraient pour l'ensemble de celle-ci.

La méthode a pour but de stimuler la faculté critique des ingénieurs et des techniciens et de les aider à déceler les risques que peuvent comporter les installations qu'ils conçoivent. C'est une méthode extrêmement souple, applicable à tous les types d'installations communément rencontrés dans l'industrie chimique, aux grandes installations de production par processus continu telles que les usines pétrochimiques ou les usines d'ammoniac comme aux petites unités de production par lots, et jusqu'aux machines ou aux appareils de fabrication

standard tels que les autoclaves ou les machines à fabriquer des feuilles de plastique. La méthode peut être utilisée par des entreprises de toutes tailles, grandes ou petites.

Ce guide décrit la méthode; il vise à faire comprendre la méthode elle-même, sa portée et son intérêt.

## Plan

Le plan choisi vise à présenter d'abord les principes fondamentaux de la méthode, puis à en montrer l'application pratique.

Le pivot de l'étude des dangers et des conditions de fonctionnement est l'examen critique: au cours d'une séance de travail, une équipe multidisciplinaire examine systématiquement tous les éléments importants de l'opération ou de l'installation projetée, selon un canevas méthodologique bien défini mais de façon créatrice. Comme c'est la clé de la méthode, on exposera dans une section initiale les principes de l'examen.

La section suivante montre comment, concrètement, conduire une étude, du travail préparatoire au suivi: rassemblement d'informations sur les risques mis en évidence, étude des mesures à prendre pour y faire face.

Les études des dangers et des conditions de fonctionnement ne sont pas un but en soi, mais s'inscrivent dans la procédure générale de planification, d'étude, de construction, de mise en service et d'exploitation des installations. De telles études peuvent être entreprises à différents stades, selon une programmation exposée dans la section 4.

Les trois premières notes annexes présentent des applications de la méthode, avec des exemples détaillés, pour trois types d'installations ou de matériels. Les trois notes suivantes donnent des conseils sur la mise en train des études, sur la formation à donner aux personnes appelées à les conduire et sur le cadre à mettre en place pour pouvoir les conduire de façon régulière.



## **Table des matières**

### **1. Introduction**

### **2. L'examen critique**

2.1 Principe

2.2 Un exemple simple

2.3 Signification des mots-guides

2.4 Observations additionnelles sur l'utilisation des mots-guides

### **3. Conduite des études**

3.1 Définition des objectifs et du champ de l'étude

3.2 Constitution de l'équipe

3.3 Travail préparatoire

3.4 Examen critique

3.5 Suivi

3.6 Consignation des résultats

### **4. Programmation des études**

4.1 Détection précoce des risques d'accident majeur

4.2 Contrôle au stade du projet définitif

4.3 Contrôle avant la mise en service

4.4 Etude d'installations en service

### **5. Glossaire**

### **6. Source**

### **7. Références bibliographiques**

### **Notes annexes**

1. Exemple d'application: production par processus continu

2. Exemple d'application: production par lots

3. Exemple d'application: appareil de fabrication standard

4. Comment lancer un programme d'études des dangers et des conditions de fonctionnement

5. Formation

6. Institutionnalisation des études



## 1. Introduction

La sécurité des installations chimiques dépend en premier lieu de l'application d'un ensemble de règles et de normes de conception fondées sur l'expérience et le savoir des spécialistes de l'industrie. L'application de ces règles et de ces normes peut s'appuyer, dans l'entreprise, sur l'expérience des cadres et des ingénieurs qui ont travaillé dans des installations semblables et qui ont pu se familiariser directement avec leur exploitation.

Tout nouveau projet comporte quelque chose d'original. Dans l'industrie chimique, le degré d'innovation, d'une installation à une autre, est souvent considérable. L'expérience qui trouve son expression dans les manuels, les règles et les normes de conception est limitée par l'état des connaissances; elle n'est utile, qui plus est, que dans la mesure où elle est applicable aux innovations – produits, installations, méthodes d'exploitation – que les nouveaux projets comportent. Manuels, règles et normes gardent toute leur valeur, mais il est impératif de les compléter en sachant faire preuve d'imagination et prévoir les risques que peuvent présenter les projets qui font intervenir de nouvelles technologies.

Qu'il faille procéder à un examen critique des opérations ou des installations projetées pour y déceler les éventuelles erreurs, les éventuelles omissions, on le sait depuis bien longtemps. Mais ingénieurs et techniciens travaillaient chacun de leur côté: selon leur spécialité et leur expérience particulière, ils s'attachaient à tel ou tel aspect du projet; l'ingénieur chargé des problèmes de métrologie industrielle, par exemple, contrôlait les dispositifs de mesure et de régulation et, s'ils étaient satisfaisants, donnait son visa et passait les plans à l'expert suivant. Fait de manière consciencieuse, ce genre de contrôle individuel entraîne certes des améliorations, mais il ne permet guère de déceler les risques découlant de l'interaction de plusieurs fonctions ou facteurs particuliers, ou, plus précisément, de l'interaction imprévue d'éléments ou de méthodes de travail apparemment sûrs dans des conditions exceptionnelles. Pour analyser les interactions qui pourraient se produire ainsi dans les nouvelles installations, il faut conjuguer les efforts d'un groupe d'experts, utiliser l'ensemble de leurs compétences et de leurs capacités d'anticipation

pour déterminer si l'installation fonctionnera comme prévu dans toutes les circonstances possibles.

La méthode exposée ci-après doit permettre à de tels groupes de remplir cette tâche de manière systématique et exhaustive.

## 2. L'examen critique

L'examen critique est, on l'a dit, la base de l'étude systématique des dangers et des conditions de fonctionnement. C'est sur lui qu'on se concentrera ici.

### 2.1. Principe

Fondamentalement, la méthode consiste, à partir d'une description complète de l'opération ou de l'installation projetée, à en examiner systématiquement chaque élément pour découvrir les déviations qui pourraient se produire par rapport au déroulement ou au fonctionnement prévu et à déterminer si ces déviations pourraient présenter un danger.

Chaque élément est examiné en fonction d'une série d'hypothèses au moyen de mots-guides dérivés de l'étude des méthodes. L'emploi de ces mots-guides doit permettre d'envisager toutes les possibilités concevables de déviation par rapport au mode opératoire prévu. On peut généralement mettre en évidence ainsi une série de dysfonctionnements ou d'incidents théoriquement possibles. On étudie alors chacun d'eux pour déterminer comment il pourrait se produire et quelles en seraient les conséquences.

La recherche des causes possibles de dysfonctionnement ou d'incident en fera peut-être apparaître certaines qui sont tout à fait improbables; on pourra alors s'arrêter là et ne pas en envisager les suites. De même, l'examen des conséquences des dysfonctionnements ou des incidents possibles en fera peut-être apparaître certaines qui sont négligeables et dont il n'y a pas lieu de s'inquiéter davantage. Restent les dysfonctionnements ou les incidents auxquels on peut trouver des causes d'un certain degré de probabilité et qui pourraient avoir des conséquences graves. On les relèvera en vue d'y remédier.

Les différents éléments de l'opération/installation sont ainsi examinés systématiquement les uns après les autres, les possibilités de dysfonctionnement et

d'incident dangereux étant chaque fois notées, jusqu'à ce que l'ensemble de l'opération/installation ait été étudié.

Le but, en résumé, est de déterminer toutes les déviations qui pourraient se produire par rapport au mode opératoire prévu et tous les risques que ces déviations pourraient créer. Il est possible qu'on puisse écarter certains risques par des mesures qui s'imposent de façon évidente et qui ne sont pas de nature à poser des problèmes ailleurs dans l'opération/installation; on pourra alors opérer les modifications nécessaires sur-le-champ. Cela n'est pas toujours possible, notamment quand il faut recueillir des données supplémentaires. C'est ainsi que l'étude a généralement pour résultat, d'une part, de provoquer des décisions, d'autre part, de soulever des questions qui devront recevoir une réponse ultérieurement.

On pourrait penser que la méthode, ainsi décrite, permet de diagnostiquer de façon presque mécanique les dysfonctionnements ou les incidents qui pourraient théoriquement se produire. Le succès de son application dépend toutefois de quatre conditions:

- 1) exactitude des données et des plans sur lesquels l'examen se fonde;
- 2) compétence et perspicacité techniques de l'équipe;
- 3) aptitude de l'équipe à utiliser la méthode comme un outil d'investigation qui doit l'aider à imaginer elle-même les déviations qui pourraient se produire, leurs causes et leurs conséquences;
- 4) jugement de l'équipe, notamment lorsqu'elle doit apprécier la gravité des risques mis en évidence.

L'examen est systématique et suit un canevas méthodologique rigoureux. Il importe donc que certains termes soient utilisés de manière stricte et précise; les plus importants sont les suivants:

**Intention.** C'est le mode d'opération prévu, la façon dont l'installation devrait fonctionner, l'opération se dérouler. Elle peut être définie de diverses manières, sous une forme descriptive ou graphique; souvent, elle l'est par un schéma de déroulement ou de processus (d'autres modes de représentation sont indiqués dans la section 3.3).

**Déviatiion.** Il y a «déviatiion» quand le fonctionnement de l'installation, le déroulement de l'opération s'écarte de l'intention, c'est-à-dire du fonctionnement ou du déroulement prévu. On recherche ces déviations à l'aide des mots-guides.

**Causes.** Ce sont les faits ou les événements qui pourraient provoquer des déviations. Si la recherche des causes possibles fait apparaître un fait ou un événement qui pourrait effectivement se produire, alors la possibilité de déviatiion doit être prise en compte.

**Conséquences.** Ce sont les faits ou les événements que provoqueraient les déviations si elles se produisaient.

**Dangers.** Ce sont les conséquences qui pourraient causer des dommages aux personnes ou aux choses.

**Mots-guides.** Ce sont des mots simples que l'on utilise pour remettre systématiquement en question le fonctionnement ou le déroulement prévu. Ils servent à guider et à stimuler la réflexion critique et doivent permettre de découvrir les déviations possibles. Le tableau 1 (voir plus loin) donne une liste de mots-guides.

## 2.2. Un exemple simple

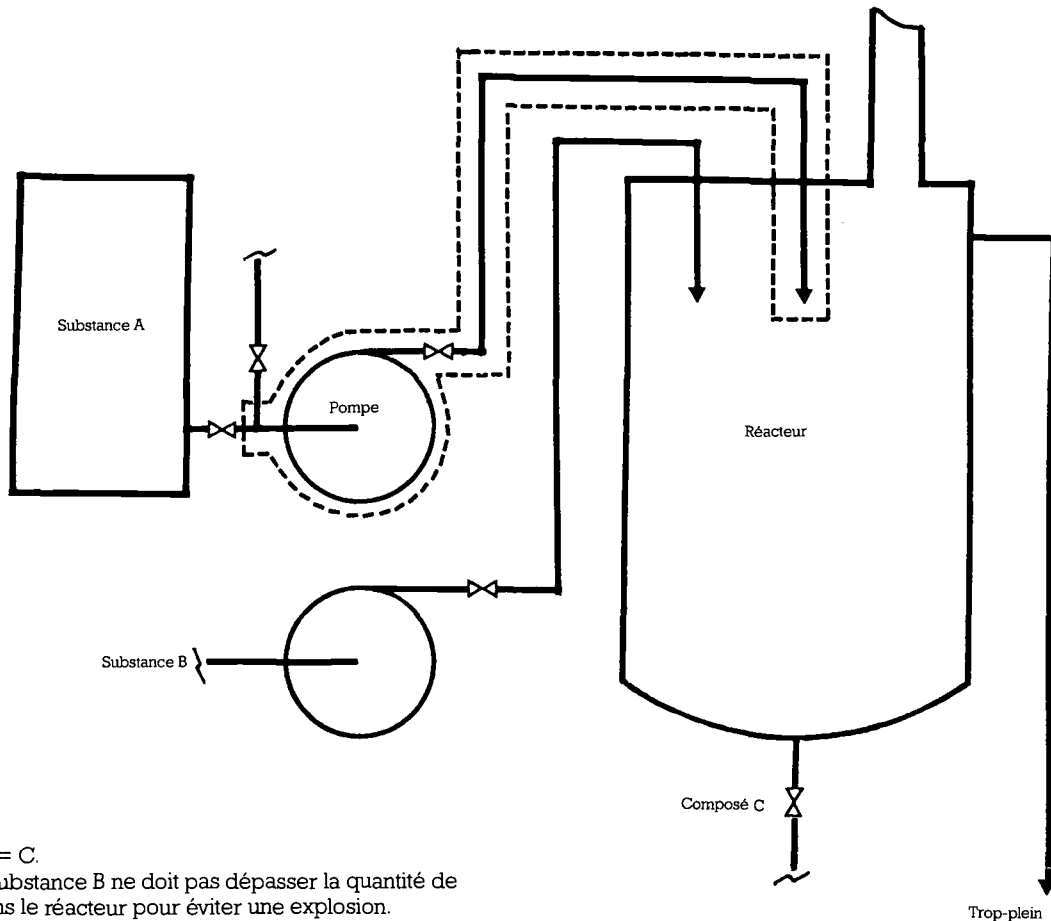
Pour illustrer la méthode d'étude des dangers et des conditions de fonctionnement, on prendra l'installation représentée à la figure 1. Il s'agit d'un réacteur chimique qui produit, à partir des substances A et B, le composé C. La quantité de substance B dans le réacteur ne doit jamais dépasser la quantité de substance A, pour prévenir une explosion. On examinera le dispositif d'alimentation du réacteur en substance A: pompe, tuyauterie, robinet d'isolement.

Le fonctionnement prévu – l'intention – est indiqué en partie par le schéma et en partie par les conditions de régulation du procédé: le dispositif doit alimenter le réacteur en substance A à un débit  $d$ .

La recherche des possibilités de dysfonctionnement ou d'incident s'effectue à l'aide des mots-guides que l'on applique au fonctionnement prévu.



Figure 1. Exemple: schéma de l'installation



Réaction:  $A + B = C$ .

La quantité de substance B ne doit pas dépasser la quantité de substance A dans le réacteur pour éviter une explosion.

La partie de l'installation considérée (dispositif d'alimentation du réacteur en substance A) est entourée d'un trait interrompu

*Première possibilité: mot-guide NE PAS (PAS DE)*

Le dispositif **n'**alimente **pas** le réacteur en substance A.

On examine le schéma pour déterminer les causes qui pourraient provoquer l'arrêt complet de l'alimentation du réacteur en substance A. Ces causes pourraient être les suivantes:

- 1) le réservoir de substance A est vide;
- 2) la pompe ne fonctionne pas:
  - a) défaillance mécanique;
  - b) défaillance électrique;
  - c) pompe hors tension, etc.;
- 3) la tuyauterie est endommagée;
- 4) le robinet d'isolement est fermé.

Quelques-unes de ces causes au moins présentent un certain degré de probabilité: il s'agit donc de possibilités de dysfonctionnement à prendre en compte.

On en examine alors les conséquences. Un arrêt complet de l'alimentation en substance A entraînerait très vite un excès relatif de substance B dans le réacteur et, par conséquent, un risque d'explosion. On a ainsi décelé un risque dans l'installation, risque qu'il convient de noter pour étudier les dispositions à prendre.

*Deuxième possibilité: mot-guide PLUS (DAVANTAGE, SUPÉRIEUR, EXCESSIF)*

Le dispositif alimente le réacteur en substance A à un débit **supérieur** au débit *d*.

Cet incident pourrait se produire en raison des caractéristiques de la pompe, qui pourrait avoir, dans certaines conditions, un débit excessif.

Si cette cause présente un certain degré de probabilité, il faut examiner les conséquences de l'incident:

- 1) la réaction produit le composé C, additionné de l'excès de substance A, qui passe au stade suivant du processus;
- 2) le débit excessif d'alimentation va entraîner un écoulement de liquide hors du réacteur par le trop-plein.

Il faut alors recueillir des données supplémentaires pour déterminer si ces conséquences peuvent présenter un risque.

*Troisième possibilité: mot-guide MOINS (INFÉRIEUR, INSUFFISANT)*

Le dispositif alimente le réacteur en substance A à un débit **inférieur** au débit *d*.

Les causes possibles de cette déviation diffèrent un peu de celles qui pouvaient provoquer l'arrêt complet de l'alimentation en substance A:

- 1) le robinet est partiellement fermé;
- 2) la tuyauterie est partiellement obstruée;
- 3) la pompe ne fournit pas le débit normal:
  - a) roue usée;
  - b) clapets usés, etc.

Les conséquences sont semblables à celles qu'entraînerait l'arrêt complet de l'alimentation: en d'autres termes, il peut y avoir un risque d'explosion.

On poursuit l'investigation à l'aide de quatre autres mots-guides, de façon à analyser le fonctionnement prévu du dispositif d'alimentation dans d'autres hypothèses et à déceler toutes les possibilités de déviation.

Lorsque le dispositif d'alimentation en substance A a été examiné, la chose est notée sur le schéma. On passe alors à l'élément suivant, par exemple le dispositif d'alimentation du réacteur en substance B. On fait de même pour chaque élément de l'installation: tuyauteries, appareils du réacteur (agitateurs par exemple), fonctions à assurer au

réacteur (chauffage, refroidissement), réacteur lui-même.

La figure 2 présente le schéma de déroulement de l'examen critique. Ce n'est que dans des cas exceptionnels qu'on tient un relevé écrit de chaque étape de l'examen. Habituellement, on conduit celui-ci, étape par étape, oralement, et on consigne uniquement les risques potentiels et les causes des déviations qui pourraient engendrer ces risques. On note également les mesures à prendre s'il est possible de les définir sur-le-champ. En cas de doute ou s'il est nécessaire de réunir de plus amples données, la question est reprise à une séance ultérieure.

### 2.3. Signification des mots-guides

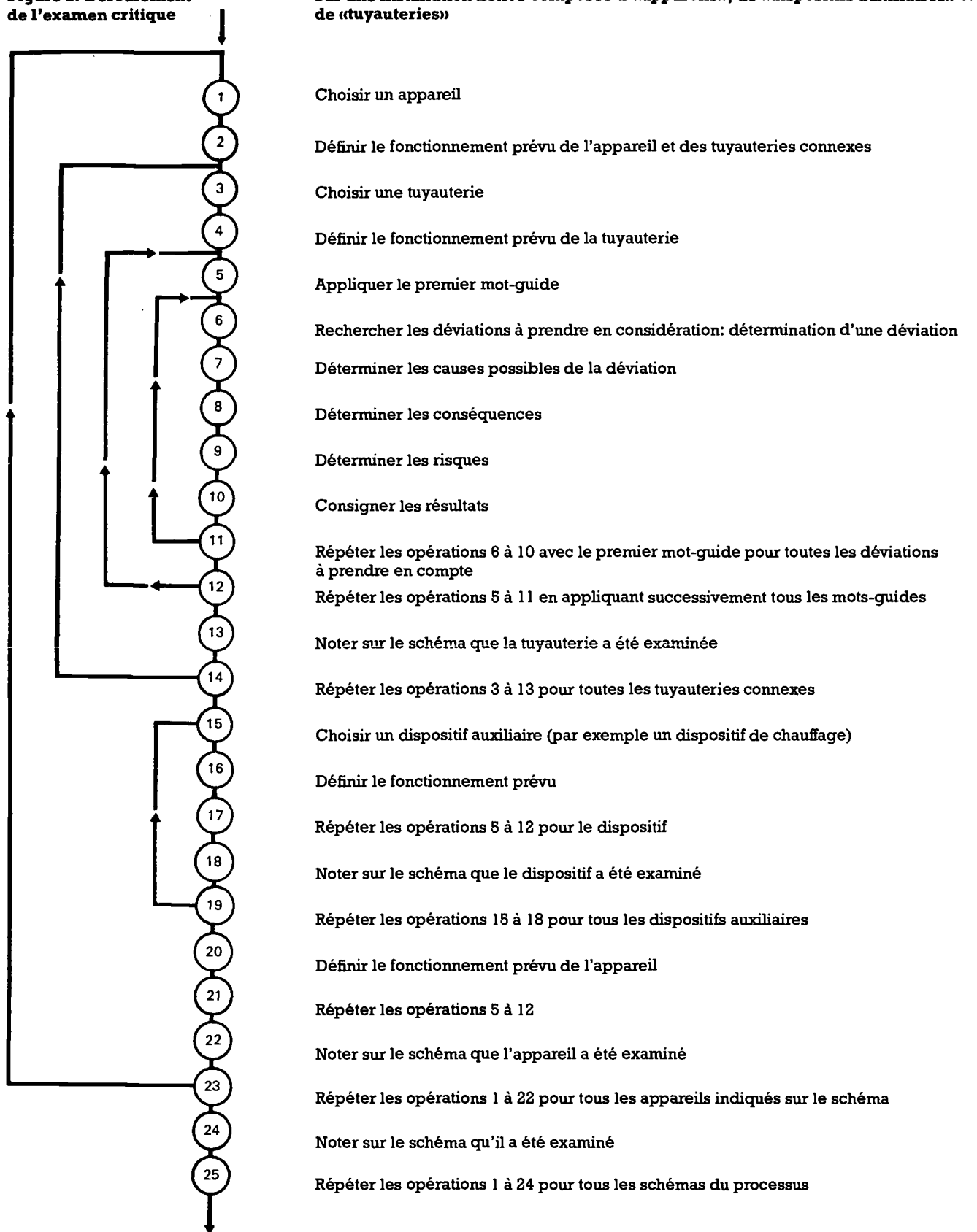
Dans l'exemple simple qui précède, on a exposé le principe de la méthode d'examen critique en montrant comment appliquer les trois premiers mots-guides, ce qui est en général assez simple et fait apparaître des déviations faciles à comprendre. Les quatre autres mots-guides ne sont pas aussi faciles à appliquer et appellent une explication plus détaillée. On en indiquera la signification, toujours à l'aide de l'exemple de la figure 1.

Dans le cas de la déviation suivante, l'installation fonctionne, l'opération se déroule comme prévu, mais il se passe en plus quelque chose d'autre. L'expression-guide est ET EN OUTRE, ce qui donne: le dispositif alimente le réacteur en substance A **et en outre** ... On peut envisager:

- 1) que le dispositif alimente le réacteur en substance A et en une autre substance;
- 2) que le dispositif alimente le réacteur et un autre élément de l'installation;
- 3) que le dispositif alimente le réacteur et réalise en outre une autre opération.

Première éventualité: si l'on se reporte au schéma, on voit, du côté aspiration de la pompe, qu'une seconde tuyauterie avec robinet se branche sur la tuyauterie amenant la substance A. Si le robinet de cette tuyauterie n'est pas fermé, une autre substance pourrait être refoulée par la pompe dans le réacteur avec la substance A. Il s'agit de savoir alors quels effets cette substance pourrait

**Figure 2. Déroulement de l'examen critique**



avoir, soit par elle-même, soit en tant que diluant de la substance A.

Deuxième éventualité: le schéma montre que c'est aussi une déviation possible et que la substance A pourrait passer par exemple dans la tuyauterie qui se branche sur la tuyauterie amenant la substance A à la pompe.

Troisième éventualité: on peut concevoir par exemple que le dispositif d'alimentation soit le siège d'un phénomène d'ébullition ou de décomposition de la substance A.

Dans le cas de la déviation suivante, l'installation fonctionne, l'opération se déroule comme prévu, mais remplit INCOMPLÈTEMENT son but, ce qui donne: le dispositif alimente incomplètement le(s) réacteur(s) en substance A.

On peut supposer par exemple que la substance A est un mélange et qu'un des éléments du mélange fait défaut. Il faudrait ici connaître la composition de la substance A pour déterminer les effets de l'absence de l'élément en question.

Si le dispositif alimente en fait plusieurs réacteurs, on peut envisager, dans l'hypothèse considérée ici, qu'il n'alimente pas l'un ou l'autre d'entre eux.

Dans les deux derniers cas, l'installation ne fonctionne, l'opération ne se déroule absolument pas comme prévu.

Première hypothèse: le fonctionnement/le déroulement est l'inverse de ce qui est prévu. L'expression guide est À L'ENVERS: le dispositif d'alimentation travaille à l'envers. Il se produirait alors un reflux du réacteur à travers la pompe. Il faut dans ce cas étudier le schéma de l'installation, voir si la chose est possible et, dans l'affirmative, en déterminer les conséquences.

Deuxième hypothèse: il se produit quelque chose d'autre que le fonctionnement/le déroulement de l'opération prévu. L'expression guide est AUTRE CHOSE (QUE): le dispositif fait autre chose qu'alimenter le réacteur en substance A:

- 1) il envoie dans le réacteur une autre substance que la substance A;
- 2) il envoie la substance A ailleurs que dans le réacteur;

- 3) il effectue une autre opération que l'alimentation du réacteur en substance A.

Première éventualité: on se reporte au schéma pour voir si la chose est possible. On constate qu'une substance autre que la substance A pourrait arriver à la pompe du réservoir ou par la tuyauterie qui se branche sur la tuyauterie venant du réservoir. Il faut alors déterminer quelles substances pourraient ainsi arriver dans le dispositif d'alimentation et quels effets elles auraient.

Deuxième éventualité: l'étude du schéma montre qu'il pourrait se produire un refoulement de la substance A dans la tuyauterie qui se branche sur la tuyauterie venant du réservoir.

Troisième éventualité: le passage de la substance A dans le dispositif d'alimentation pourrait par exemple amener la solidification de la substance.

#### **2.4. Observations additionnelles sur l'utilisation des mots-guides**

On a présenté dans les paragraphes qui précèdent un jeu de mots-guides à appliquer à l'«intention» – fonctionnement prévu de l'installation, déroulement prévu de l'opération – pour déterminer les déviations qui pourraient théoriquement se produire. Les possibilités d'application de ces mots-guides et leur utilité dépendent de la définition de l'intention et des formes de déviation possibles.

Lorsque l'intention – le fonctionnement, le déroulement prévu – est définie de façon générale, tous les mots-guides sont applicables. Ils peuvent être appliqués aussi à des propositions ou à des termes descriptifs particuliers. Toutefois, lorsque l'intention est définie de façon très détaillée, les mots-guides, parfois, ne peuvent être utilisés ou doivent être modifiés.

Pour des opérations telles que les réactions ou les déplacements de matières (alimentation, évacuation, etc.), on constate généralement que tous les mots-guides font apparaître des possibilités de déviation compréhensibles. Parfois, un mot-guide fait apparaître plus d'une possibilité de déviation.

De même, utilisés avec des substances, tous les mots-guides (sauf peut-être «à l'envers»), définissent des possibilités de déviation compréhensibles, et parfois, ici aussi, des

possibilités multiples. Appliqué à de la vapeur, par exemple, le mot «plus de» peut signifier une plus grande quantité ou un plus grand débit de vapeur (augmentation du volume) ou une pression plus élevée (augmentation de l'intensité).

Lorsque l'intention est définie de façon détaillée, les possibilités de déviation se trouvent réduites, et l'emploi des mots-guides peut se trouver limité. Supposons que les spécifications fixent une température de 100°C; les seuls écarts possibles (si l'on néglige la question du zéro absolu) sont «plus» (température supérieure à 100°C) et «moins» (température inférieure à 100°C).

Appliqués à des notions temporelles, «plus» et «moins» peuvent signifier une durée plus longue ou plus courte ou des fréquences plus élevées ou plus faibles. Lorsque l'examen porte sur une suite d'opérations ou sur des opérations qui se situent dans le temps absolu, les mots «plus tôt» ou «plus tard» sont de meilleurs instruments d'analyse que «autre chose que». De même, pour les spécifications spatiales (position, lieu de provenance, lieu de destination), l'expression «en un autre lieu» est plus utile que «autre chose (que)».

Lorsque la définition du fonctionnement, du déroulement prévu comporte un ensemble complexe de spécifications (températures, débits,

compositions, pressions, etc.), il est parfois préférable de procéder paramètre par paramètre, en appliquant à chacun toute la série des mots-guides, plutôt que mot-guide par mot-guide, en appliquant chacun à tous les paramètres. De même, lorsqu'on travaille sur une phrase, il vaut parfois mieux procéder mot par mot (ou élément de phrase par élément) et appliquer à chacun toute la série des mots-guides, en commençant par l'élément clé, celui qui décrit l'opération.

### 3. Conduite des études

L'étude des dangers et des conditions de fonctionnement, où les principes décrits dans la section précédente sont mis en pratique, comprend les six phases suivantes:

- 1) définition des objectifs et du champ de l'étude;
- 2) constitution de l'équipe;
- 3) travail préparatoire;
- 4) examen critique;
- 5) suivi;
- 6) consignation des résultats.

Chacune de ces phases est décrite de façon plus détaillée ci-après.

**Tableau 1. Liste des mots-guides**

Les mots-guides sont appliqués à la définition de l'«intention», qui indique comment l'installation est censée fonctionner, le processus se dérouler.

MOTS-GUIDES	VALEUR	OBSERVATION
NE PAS, PAS DE	Négation	L'installation ne fonctionne pas, l'opération ne se déroule pas, mais il ne se passe rien d'autre
PLUS (DAVANTAGE, SUPÉRIEUR, EXCESSIF) MOINS (INFÉRIEUR, INSUFFISANT)	Augmentation ou diminution quantitative	Applicables à des grandeurs ou à des propriétés telles que les débits et les températures, ainsi qu'à des opérations telles que les opérations de chauffage ou les réactions
ET EN OUTRE	Amplification	L'installation fonctionne, l'opération se déroule comme prévu, et il se produit en plus quelque chose d'autre
INCOMPLÈTEMENT	Réalisation imparfaite	L'installation fonctionne, le processus se déroule en partie comme prévu
À L'ENVERS	Inversion	Applicable surtout aux opérations, par exemple l'inversion d'un écoulement ou d'une réaction. Peut s'appliquer également aux substances, par exemple «poison» au lieu d'«antidote» ou «D» au lieu de «L» pour les isomères optiques
AUTRE CHOSE (QUE)	Substitution	L'installation ne fonctionne, l'opération ne se déroule en rien comme prévu: il se passe quelque chose de totalement différent

### 3.1. Définition des objectifs et du champ de l'étude

Les objectifs et le champ de l'étude devraient être précisés le plus tôt possible.

On peut entreprendre une étude, par exemple:

- pour contrôler un projet;
- pour décider la construction d'une installation et en fixer l'implantation (voir aussi section 4.1.);
- pour décider l'achat d'un matériel;
- pour déterminer les questions à poser à un fournisseur;
- pour vérifier les consignes d'exploitation;
- pour améliorer la sécurité d'installations existantes.

Il faut déterminer aussi le genre de risques à considérer:

- risques pour le personnel de l'installation;
- risques pour l'installation et le matériel;
- risques pour la qualité du produit;
- risques pour la population;
- risques pour l'environnement.

Il importe de déterminer les limites physiques de l'installation à étudier et de décider s'il faut prendre en compte les possibilités d'interaction avec des installations ou des bâtiments voisins; de préciser les délais et les contraintes financières à observer le cas échéant; de voir s'il est possible de considérer certains éléments comme acquis (le domaine du génie civil ou du génie chimique, par exemple) et de les laisser de côté.

Les objectifs généraux de l'étude sont fixés en principe par la personne chargée de la direction du projet ou de l'installation, laquelle est généralement secondée dans sa tâche par le chef d'étude (voir 3.2). L'étude étant réalisée par une équipe, il importe de déterminer les attributions de celle-ci, décision facilitée si les cadres supérieurs connaissent la méthode (la question de leur formation est traitée en annexe dans la note 5).

### 3.2. Constitution de l'équipe

Les études des dangers et des conditions de fonctionnement sont habituellement conduites par des équipes multidisciplinaires, qui comprennent, d'une part, des experts techniques, d'autre part, des personnes appelées à jouer un rôle d'animation et d'appui.

#### Spécialistes techniques

Il faut que l'équipe connaisse à fond la manière dont l'installation est censée fonctionner. Elle devrait recruter ses membres à la fois parmi les personnes chargées de la conception technique des installations et parmi celles qui doivent en assurer l'exploitation. Avec la méthode des mots-guides, l'équipe va avoir à examiner un très grand nombre de questions; il faut donc qu'elle réunisse en son sein les connaissances et l'expérience nécessaires pour y répondre en règle générale sans recourir à d'autres experts.

Dans une petite usine chimique, par exemple, l'équipe pourra être composée d'un ingénieur mécanicien, d'un ingénieur chimiste, d'un chimiste du service de recherche et développement, du directeur de l'exploitation et du directeur chargé du projet. Un tel groupe devrait posséder le savoir technique nécessaire. La composition de l'équipe dépend, au demeurant, du type de projet. Pour certains, il faudra faire appel à d'autres spécialistes: ingénieurs électroniciens et électriciens, ingénieurs civils, pharmaciens, etc.

En demandant à des personnes associées à la réalisation des études techniques de faire partie de l'équipe, on les encouragera beaucoup à accorder toute leur attention à la sécurité d'exploitation.

L'équipe ne devrait pas être trop nombreuse; l'idéal est de trois à cinq membres du côté technique. Lorsque l'étude semble demander le concours d'un grand nombre de personnes, il vaut mieux essayer de la décomposer en plusieurs parties et d'adapter l'équipe pour chaque partie.

La question de la formation des membres des équipes est traitée en annexe dans la note 5.

### Animation, secrétariat

L'examen critique devant être conduit de façon très systématique, il faut une personne qui dirige le travail, le chef d'étude.

Le chef d'étude est appelé à intervenir tout au long de l'étude – pour aider la personne qui en a pris l'initiative à en définir le champ, par exemple, pour participer s'il y a lieu au choix et à la formation des membres de l'équipe, pour veiller au rassemblement et à la mise en forme des données nécessaires.

Toutefois, la tâche principale du chef d'étude, tâche à laquelle il doit être parfaitement préparé, est de diriger l'examen critique, la mise en question systématique du projet considéré. Il n'est pas souhaitable de lui demander une trop grande contribution technique. Au contraire, il est préférable qu'il n'ait pas été mêlé de trop près au projet: on risque en effet, en pareil cas, de ne plus voir certaines choses et de ne pouvoir utiliser la méthode exposée ici de façon objective. Le chef d'étude devrait toutefois avoir le bagage technique nécessaire pour conduire le travail de l'équipe. Les compétences et la formation requises sont indiquées dans la note 5.

En plus du chef d'étude, il est parfois souhaitable de désigner, pour seconder l'équipe, un secrétaire, qui note les risques mis en évidence au cours de l'examen critique. Il peut paraître excessif d'avoir deux personnes pour animer et appuyer le travail de l'équipe, mais l'expérience montre que cela accélère beaucoup les choses: il vaut mieux, pour une étude, employer sept personnes pendant deux jours que six pendant quatre jours. La formation des secrétaires est évoquée elle aussi dans la note 5.

### Attitude requise

Il est indispensable que l'équipe ait une attitude constructive à l'égard de l'étude, dont le succès dépend, en dernière analyse, de la réflexion imaginative de ses membres. Cette attitude doit être développée dès la définition des objectifs et du champ de l'étude. La formation peut faire beaucoup pour créer un esprit favorable, une sorte d'impatience de s'attaquer au travail. Il arrive, pendant les séances d'examen, que certains trouvent la méthode fastidieuse, mais une équipe

bien dirigée retire finalement une grande satisfaction de l'analyse approfondie dont le projet, projet qui est son affaire, fait l'objet.

### 3.3. Travail préparatoire

L'importance du travail préparatoire dépend de la taille et de la complexité des installations. Dans le cas le plus simple, il suffira à quelques personnes de travailler deux ou trois heures sur un schéma pour mener l'étude à bien. En général, toutefois, le travail préparatoire est plus important et comprend quatre phases:

- 1) rassemblement des données;
- 2) mise en forme des données;
- 3) planification de l'étude;
- 4) programmation des séances de travail.

Les données se présentent habituellement sous la forme de plans et de schémas de diverses sortes (schémas de processus, de déroulement, plans d'implantation, plans et dessins de fabrication, etc.), à quoi peuvent s'ajouter les consignes d'exploitation, les programmes de commande séquentiels, les logigrammes, les programmes d'ordinateur, voire les manuels élaborés par l'entreprise ou par les fabricants de matériel.

Il convient de s'assurer que l'on dispose de toutes les données nécessaires pour l'étude et de tirer au clair les divergences ou les ambiguïtés qu'elles comporteraient. La mise en forme des données et la planification de l'étude exigeront plus ou moins de travail selon la nature des installations.

Pour les installations de production par processus continu, le travail préparatoire est réduit au minimum. Les schémas (schémas de l'installation, schémas de processus) contiennent assez d'informations pour la conduite de l'étude, et il suffit d'en faire un nombre suffisant de copies. L'étude progresse elle aussi de façon assez simple: elle suit, du début à la fin, le déroulement du processus. La note annexe 1 donne une liste d'installations de ce genre ainsi qu'un exemple pratique tiré d'une étude.

Vu la relative simplicité des études de processus continus, la plus grande partie de cette section est consacrée aux opérations plus complexes de production par lots ou de production discontinue,

auxquelles il est aussi fait une plus grande place dans les exemples (notes annexes 2 et 3).

Pour les installations de production par lots, le travail préparatoire est généralement plus poussé. En plus des schémas et des plans décrivant l'installation, il faut connaître la séquence des opérations, qui peut être indiquée par différents documents: consignes d'exploitation, logigrammes, programmes de commande séquentiels, etc. Dans certains cas (par exemple lorsque plusieurs lots sont traités simultanément), il faudra établir un tableau indiquant l'état de tous les éléments de l'installation à différents moments. Le personnel d'exploitation peut être appelé à intervenir directement dans les opérations, par exemple pour charger des cuves; en pareil cas, il faudra disposer des graphiques de déroulement correspondants.

Il n'est pas toujours possible de conduire l'étude en suivant le déroulement des processus. L'équipe devra commencer par la première opération prévue dans les consignes d'exploitation et soumettre cette opération (ou une partie de celle-ci) à l'examen critique en se référant aux schémas correspondants. Le chef d'étude établira en principe le plan de l'étude avant le début de celle-ci. La note annexe 2 donne une liste d'installations de ce genre ainsi qu'un exemple simplifié d'analyse.

Pour certains matériels ou appareils complexes de fabrication standard, le travail préparatoire peut devenir très important, jusqu'à prendre plus de temps que l'examen critique lui-même. Les fabricants fournissent rarement tous les renseignements qui seraient nécessaires sous une forme appropriée. On n'a généralement pas de schéma qui montre comment l'appareil considéré s'intègre dans l'installation, où il arrive qu'on trouve, montés en série, plusieurs appareils fournis par des fabricants différents.

Le chef d'étude est souvent obligé d'établir un schéma fonctionnel spécialement conçu pour permettre l'application de la méthode, qui indique s'il y a lieu les relations entre l'appareil considéré et le reste de l'installation et les interventions du personnel d'exploitation. Le travail exige fréquemment de longues consultations entre le directeur du projet et le chef d'étude, parfois avec la participation de représentants des fabricants.

Le chef d'étude préparera un plan d'étude et le discutera, de même que le schéma fonctionnel, avec les membres de l'équipe avant de commencer l'examen. La note annexe 3 donne une liste d'opérations entrant dans la catégorie considérée ici ainsi qu'un exemple d'analyse.

Une fois les données rassemblées et le schéma fonctionnel élaboré (le cas échéant), le chef d'étude peut établir le programme des séances de travail. La première chose à faire est d'estimer le nombre d'heures que prendra l'examen. Il y a plusieurs façons de procéder.

En règle générale, l'examen d'un élément d'installation, par exemple un dispositif d'alimentation, prend en moyenne quinze minutes. L'examen de l'installation simple représentée à la figure 1 prendrait ainsi une heure et demie: deux fois quinze minutes pour les deux systèmes d'alimentation et quinze minutes chaque fois pour la tuyauterie de sortie, le trop-plein, l'évent et le réacteur lui-même. On peut aussi procéder à une estimation en comptant deux heures et demie pour chaque appareil (réacteur, cuve, réservoir, etc.) avec les dispositifs périphériques, et quinze minutes pour des opérations simples telles que la mise en marche d'un transporteur, le démarrage d'un moteur, etc.

Ayant estimé le nombre d'heures requis, le chef d'étude (ou le secrétaire) peut programmer les réunions, dont il est souhaitable de limiter la durée à trois heures (de préférence dans la matinée). On constate généralement, quand les séances se prolongent, que l'on travaille moins efficacement. Il peut arriver, dans des conditions d'extrême urgence, que le travail se poursuive deux jours de suite, mais un tel programme ne devrait être envisagé que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles.

Il convient en principe de limiter le nombre des séances à deux par semaine, pour laisser du temps pour le suivi (voir 3.5). Cela peut présenter des difficultés, toutefois, si certains membres de l'équipe doivent venir de loin pour assister aux réunions.

Les séances devraient être organisées dans des locaux où l'équipe ne risque pas d'être dérangée et où il y ait des tables assez grandes pour disposer les plans, les schémas, etc.



Pour les projets importants, il est souvent impossible à une seule équipe de mener à bien toute l'étude dans les délais fixés. Il convient alors de former plusieurs équipes, avec chacune leur chef. L'un des chefs d'étude devrait assurer la coordination, répartir le travail entre les équipes et établir le programme d'ensemble.

### 3.4. Examen critique

Les principes de l'examen critique ont déjà été exposés dans la section 2. On trouvera ici des conseils pratiques pour la conduite de l'examen.

L'examen critique des projets est mené de façon très méthodique, le chef d'étude dirigeant le travail selon le plan qu'il a établi à l'avance. Si l'examen se fonde sur le schéma de processus, il prend le premier élément de l'installation et demande à l'équipe d'en indiquer la fonction générale, ce qui n'est pas toujours évident. Il est indispensable, cependant, que les membres de l'équipe sachent tous exactement à quoi sert l'élément considéré pour pouvoir imaginer les possibilités de déviation. L'approche est semblable quand l'étude procède sur la base des consignes d'exploitation.

Le chef d'étude applique alors le premier mot-guide, et la discussion s'engage. Il doit parfois, surtout si l'équipe manque d'expérience, stimuler la réflexion en posant des questions complémentaires: est-il possible que le dispositif ne fonctionne pas, serait-il grave qu'il ne fonctionne pas? Le chef d'étude devrait se borner essentiellement à poser des questions qui lancent l'investigation: ce sont les membres de l'équipe qui doivent apporter les réponses techniques; ils devraient être encouragés à mener une réflexion créatrice et à envisager eux-mêmes toutes les déviations et tous les risques possibles.

Le chef d'étude doit s'assurer que tous les membres de l'équipe comprennent bien les risques que l'examen peut faire apparaître. Comme on l'a déjà dit, on peut pousser plus ou moins loin la résolution des problèmes au cours de l'examen lui-même, les deux options extrêmes étant:

- soit, en présence d'un risque, de chercher aussitôt la solution du problème avant de poursuivre l'examen;
- soit de ne commencer à chercher des solutions

qu'après avoir diagnostiqué tous les risques possibles.

Dans la pratique, on choisit une voie moyenne. Dans certains cas, il n'est pas indiqué, voire pas possible, de chercher une solution sur-le-champ. Dans d'autres, quand la solution est simple et ne concerne qu'un élément isolé, on peut fort bien décider sans attendre de modifier l'élément ou le mode d'opération. Cette possibilité dépend dans une certaine mesure du genre d'installation. Dans les installations de production par processus continu, il est fort possible qu'on puisse intervenir en un point de l'installation sans remettre en cause les dispositions qui auraient déjà été prises pour la partie de l'installation située en amont, encore que ce soit une éventualité dont il faille toujours tenir compte. Dans les installations de production par lots à programme séquentiel, toute modification de la conception technique ou du mode d'opération peut avoir ailleurs d'importantes répercussions. Les questions qui doivent faire l'objet d'un examen ultérieur sont notées, avec le nom des personnes chargées de les suivre.

Quand, pour un mot-guide, l'examen est terminé, le chef d'étude, avant de passer au mot suivant, devrait résumer la discussion, tout en veillant à maintenir une bonne allure pour éviter que l'équipe ne se lasse et pour respecter le programme établi. Il faudra, au besoin, couper court à une discussion savante entre deux experts en proposant de prendre note du point de désaccord et de le régler en dehors de la réunion.

Bien que le chef d'étude se soit préparé à sa tâche, la méthode, qui oblige à aller au fond des choses, peut faire apparaître des lacunes dans les schémas techniques ou dans les connaissances des membres de l'équipe. Il faudra parfois approfondir certains aspects au cours de l'examen ou même remettre certaines parties de l'étude à plus tard pour réunir de plus amples informations.

Une fois l'examen d'un élément d'installation ou d'une opération achevé, le chef d'étude le note sur son document, de façon que rien ne puisse être omis. Il peut aussi noter chaque fois dans la case prévue sur le schéma ou le plan de l'installation que l'examen a été effectué.

On a déjà dit que le chef d'étude est parfois secondé par un secrétaire. C'est souvent le cas,

d'une part, quand l'examen doit être réalisé très vite, en raison des contraintes de temps; d'autre part, quand l'étude est complexe et que le chef d'étude doit, pour guider le travail, se référer constamment à différents documents – schémas de processus, consignes d'exploitation, programmes de commande, etc. –, auquel cas le concours d'un secrétaire lui permet de se consacrer entièrement à la conduite de l'étude.

### 3.5. Suivi

Le suivi des séances d'examen est en général assez simple. Si des décisions ont été prises quant aux modifications à apporter aux installations ou aux modes d'opération, elles doivent être communiquées aux personnes concernées. Quant aux problèmes qui n'ont pas été résolus, ils doivent l'être, sur la base de données supplémentaires, grâce à des mesures appropriées; il importe de suivre les choses de près et de veiller au progrès des solutions.

Parfois, l'examen des projets débouche essentiellement sur des questions auxquelles il s'agit d'apporter des réponses. Il peut être utile que le chef d'étude ou le secrétaire en établisse la liste et la distribue aux membres de l'équipe. Quelque temps après, l'équipe se réunira pour faire le point; lors de cette séance, elle réexaminera toutes les questions, verra ce qui a été fait et prendra, quand elle le peut, des décisions. Il est généralement possible, au cours d'une séance de ce genre, de venir à bout des questions nées de deux ou trois séances d'examen.

En présence d'un risque, on peut d'ordinaire arriver assez vite à un accord sur les mesures à prendre pour assurer la sécurité car ces mesures sont très souvent évidentes. Toutefois, dans certains cas, on se trouve devant une série de possibilités, et il peut être difficile de déterminer la mesure la plus efficace.

Pour écarter un danger, on a généralement le choix entre quatre options:

1. modifier le processus (procédé, substances, etc.);
2. modifier les paramètres du processus (pressions, températures, etc.);
3. modifier la conception du matériel;

4. modifier le mode d'opération.

Il importe d'envisager toutes les mesures possibles et de ne pas partir du principe que tous les risques peuvent et devraient être maîtrisés par une modification technique des installations.

Lorsqu'on a le choix de différentes mesures, il peut être utile de distinguer, d'une part, celles qui éliminent la cause du danger, d'autre part, celles qui en atténuent les conséquences. Il vaut généralement mieux éliminer le danger, solution plus efficace, et il est habituellement possible de le faire sans trop de frais lorsque l'étude est conduite au stade du projet (voir aussi 4.1). Si l'on ne peut raisonnablement espérer écarter le risque, alors il faut voir ce qu'il est possible de faire pour protéger les personnes et les installations en cas d'accident.

Pour illustrer ce type de raisonnement, considérons l'exemple suivant. L'examen d'un réacteur montre que la présence d'impuretés dans l'une des substances mises en œuvre pourrait entraîner une brusque formation de gaz et une augmentation de la pression dans le réacteur.

Face à ce risque, on a le choix des trois mesures suivantes:

1. éliminer la possibilité de formation de gaz en remplaçant la substance critique par une autre;
2. éliminer la possibilité de formation de gaz en modifiant l'un des paramètres du processus;
3. installer une soupape de sûreté et un évent pour protéger le réacteur.

La première solution, d'une efficacité totale, doit être retenue en premier lieu. La deuxième solution doit être envisagée avec prudence: elle n'est efficace que dans la mesure où le système de régulation du processus est sûr. La troisième solution ne doit être envisagée que si le dispositif de sécurité (soupape et évent) est sûr et capable en toute hypothèse d'éliminer la surpression.

L'analyse des risques permet de déterminer les mesures à prendre quand plusieurs possibilités s'offrent ainsi. La description de cette méthode déborderait le cadre de ce manuel, et l'on pourra se reporter à ce sujet aux références 2 à 7 (section 7). Il faut bien voir, au demeurant, que l'évaluation des risques ne vaut que ce que valent les données sur lesquelles elle se fonde. Le résultat exprime le

risque statistique qui existe pour les personnes et les choses, et indique uniquement s'il y a lieu de prendre des mesures et quelles sont les mesures qui apparaissent les plus efficaces par rapport au coût.

Lorsqu'on a décidé de modifier une installation, un mode d'opération, etc., il est souvent nécessaire de soumettre le projet à un nouvel examen pour s'assurer que la modification n'entraîne pas elle-même de nouveaux risques.

Le suivi n'est véritablement terminé que lorsqu'on a remédié à tous les risques mis en évidence grâce à l'application effective de toutes les mesures convenues.

### 3.6. Consignation des résultats

L'équipe d'étude doit veiller à consigner les résultats de son travail, ce qu'elle peut faire de façon pratique en constituant un dossier qui contiendra :

- un exemplaire de tous les documents sur lesquels l'équipe a fondé son examen (schémas de processus, schémas de déroulement, consignes d'exploitation, modèles, etc.), le visa du chef d'étude attestant qu'ils ont été examinés;
- un exemplaire de tous les documents que l'équipe aura élaborés au cours et à la suite de l'examen (documents de travail, questions, recommandations, modifications apportées au projet, etc.).

Le dossier devrait être conservé dans l'établissement, pour qu'il soit possible de s'y reporter si l'on envisage par la suite d'apporter des modifications aux installations. L'équipe peut être aussi amenée à rédiger un rapport sur les résultats de son travail. Elle le fait généralement lorsqu'elle a eu à évaluer des risques spéciaux; elle peut le faire aussi pour l'information des dirigeants ou d'autres personnes si l'étude présente des aspects particulièrement intéressants.

Les informations réunies pourront être utiles par la suite, lors de l'étude de nouveaux projets. Il en va de même des dossiers ainsi constitués; la preuve d'une étude soignée des dangers pourra permettre par exemple d'obtenir des conditions d'assurance plus avantageuses ou faciliter l'obtention de certaines autorisations.

## 4. Programmation des études

Jusqu'ici, on a envisagé l'étude des dangers et des conditions de fonctionnement pour elle-même, sans la situer dans l'ensemble de la réalisation des projets industriels.

Le moment de loin le meilleur pour conduire une telle étude est celui où le projet prend sa forme définitive. Les caractéristiques en ont été alors assez précisément définies pour qu'il soit possible d'appliquer efficacement la méthode de l'examen critique. Il est possible aussi, à ce stade, de modifier le projet sans trop de frais.

On n'arrivera à rien en entreprenant une étude à un stade trop précoce, avant que le projet soit au point, faute d'informations assez détaillées. Toutefois, ce qu'on peut faire très tôt – au stade de la définition du projet et de la fixation des grands paramètres et des grandes caractéristiques d'implantation (c'est-à-dire avant que l'étude détaillée commence) – c'est utiliser une méthode préliminaire fondée sur le principe de la liste de contrôle (voir 4.1).

Il est possible encore d'effectuer une étude des dangers et des conditions de fonctionnement lorsque la construction est en grande partie achevée, avant la mise en service des installations, notamment pour vérifier les consignes d'exploitation. Il est clair que, s'il faut à ce stade apporter des corrections au projet, cela risque d'être coûteux et d'entraîner des retards.

Il est possible enfin d'entreprendre des études sur des installations en service. Ici aussi, elles peuvent permettre d'améliorer les modes d'exploitation.

### 4.1. Détection précoce des risques d'accident majeur

Il est souhaitable de chercher à déterminer les risques d'accident majeur, notamment les risques d'interactions dangereuses entre différentes installations, à un stade très précoce de l'étude des projets. On décrira ici une méthode pour le faire, encore qu'il ne s'agisse pas d'une étude des dangers et des conditions de fonctionnement à proprement parler, car elle peut faciliter beaucoup celle-ci par la suite, quand le projet a été mis au point.

La connaissance des risques d'accident majeur permet d'arrêter certaines décisions fondamentales, notamment sur les points suivants:

- implantation géographique de l'installation;
- implantation de l'installation à l'intérieur du périmètre considéré, par rapport à d'autres installations, etc.;
- aspects du projet exigeant une étude spéciale en vue de prévenir les dangers;
- études à faire pour obtenir les informations nécessaires (toxicité des substances, inflammabilité, etc.).

Les risques d'accident majeur peuvent être mis en évidence assez facilement une fois que certains éléments de base ont été établis:

1. matières:
  - substances mises en œuvre au départ;
  - produits intermédiaires;
  - produits finaux;
  - effluents (gazeux, liquides);
2. opérations:
  - mélange;
  - distillation;
  - séchage, etc.;
3. implantation interne de l'installation:
  - disposition des différents secteurs fonctionnels de l'installation les uns par rapport aux autres;
  - situation par rapport à d'autres installations, etc.

Il convient alors d'examiner ces éléments de base à l'aide d'une liste des risques potentiels comme celle qui suit, liste utile pour la plupart des installations chimiques:

incendie	rayonnement
explosion	bruit
détonation	vibration
toxicité	électrocution
nocivité	asphyxie
corrosion	risques mécaniques

On peut naturellement ajouter d'autres risques à cette liste selon les processus considérés. En

rapprochant la liste des éléments de base et celle des risques, on pourra recenser méthodiquement les possibilités d'accident majeur que l'installation ou le processus peut comporter. Il faudra alors étudier le problème et revoir s'il y a lieu les décisions initiales.

S'il apparaît, par exemple, qu'avec le produit intermédiaire il y a risque d'incendie il faudra rechercher les limites d'inflammabilité pour déterminer les caractéristiques de l'installation de séchage prévue.

S'il apparaît qu'avec l'effluent e il y a risque toxique, il faudra réétudier le système de traitement des effluents ou, le cas échéant, l'implantation de l'installation.

S'il apparaît que, dans le dépôt d'hydrocarbures *d*, la présence de la matière *m* comporte un risque d'incendie, il faudra réétudier l'implantation des installations de stockage.

La recherche des risques d'accident majeur peut être conduite très rapidement par un petit groupe de personnes expérimentées.

Fondée sur le principe de la liste de contrôle, la méthode, qui permet d'éliminer les risques d'interactions dangereuses à un stade précoce, peut être utilisée pour étudier les interactions entre installations comme les interactions entre les installations et l'environnement.

Il faut s'attacher à déterminer les risques d'accident majeur quand il est encore temps de revoir s'il y a lieu les grandes données du projet. Par la suite, lors de l'étude détaillée des dangers et des conditions de fonctionnement, on peut espérer ne plus déceler que des risques mineurs auxquels il sera possible de remédier sans avoir à apporter d'importantes modifications aux installations ou au mode d'opération.

#### 4.2. Contrôle au stade du projet définitif

C'est le moment le plus indiqué pour entreprendre une étude des dangers et des conditions de fonctionnement. Les plans sont alors précis; les ingénieurs et les techniciens qui ont mis au point le projet savent pourquoi l'installation a été conçue comme elle l'a été. Au contraire, si l'équipe appelée à examiner le projet se trouve placée, à chaque séance, devant des plans remaniés, il lui

sera difficile de savoir, sur quelque élément qu'elle travaille, si elle travaille sur quelque chose de définitif.

Pour les matériels ou les appareils acquis auprès de fabricants extérieurs, il est possible d'entreprendre l'étude à n'importe quel moment, même avant la décision d'achat, puisque leur conception a déjà été arrêtée par le fabricant.

Il est possible aussi d'étudier, avant que l'ensemble du projet ait été mis au point, les secteurs pour lesquels il est prêt, en veillant cependant à les réexaminer plus tard, pour s'assurer que les interactions entre ces secteurs et le reste de l'installation n'engendrent pas de nouveaux risques.

#### 4.3. Contrôle avant la mise en service

Il est possible d'entreprendre une étude alors que la construction de l'installation est plus ou moins terminée et que les consignes d'exploitation ont reçu leur première formulation. Si une étude complète a été conduite après la mise au point définitive du projet avec la participation du service chargé de l'élaboration de ces consignes, il ne devrait pas être nécessaire de procéder à une nouvelle étude à ce stade. Toutefois, cela peut être utile:

- si une modification majeure a été apportée au projet à un stade très avancé;
- quand les consignes d'exploitation présentent une importance critique;
- pour des installations semblables à des installations déjà en service, qui ne comportent pas d'innovation dans le matériel mais où les processus sont différents.

On s'assurera que les schémas de processus correspondent exactement à l'installation construite.

#### 4.4. Etude d'installations en service

Si l'attention se concentre naturellement sur les installations nouvelles, il ne faut pas négliger les risques que peuvent présenter les installations existantes, installations qui resteront peut-être en service de nombreuses années et qui peuvent être modifiées ou étendues à plusieurs reprises au cours

de cette période. Si ces modifications ne sont pas étudiées avec soin, elles peuvent réduire la marge de sécurité ou remettre en cause les principes de sécurité observés dans la conception originale de l'installation.

Les ressources étant limitées, il faut établir des critères pour déterminer les installations où il y a lieu d'entreprendre une étude des dangers et des conditions de fonctionnement. La décision peut être prise sous le coup de l'émotion après un incident survenu dans l'installation ou dans une installation semblable; on peut le comprendre, mais il n'est pas sûr qu'on affecte bien ainsi les ressources au contrôle des installations qui présentent les plus grands risques. Il conviendrait donc de prendre en compte certains facteurs tels que les suivants:

- un contrôle général de la sécurité montre qu'une étude plus poussée est souhaitable;
- des incidents ou des accidents se produisent;
- l'installation est classée (par une méthode comme celle qu'on a exposée dans l'annexe 2) dans la catégorie de celles qui présentent un potentiel de risques élevé;
- l'installation doit rester en service pendant une longue période;
- l'installation a subi d'importantes modifications;
- il y a, entre l'installation considérée et d'autres, des interactions qui appellent une étude conjointe.

Dans le cas d'une installation existante, il importe de prévoir assez de temps pour le travail préparatoire, car les plans, les schémas, les consignes d'exploitation que l'on peut trouver sont souvent périmés.

Les objectifs et le champ de l'étude doivent être définis avec un soin particulier. L'étude débouchera sur des recommandations qui exigeront peut-être des modifications importantes de l'installation. Il faut savoir exactement qui aura à décider de la suite à leur donner. Il faut aussi établir une procédure stricte de suivi et de contrôle des mesures à prendre: généralement prévue pour la réalisation des nouveaux projets, cette procédure risque de faire plus ou moins défaut lors de la transformation d'installations existantes.

## 5. Glossaire

**Chef d'étude.** Personne formée à la méthode d'étude, qui conseille et aide l'équipe. Au moyen des mots-guides, le chef d'équipe stimule la discussion, en veillant à ce que tous les éléments du projet soient examinés. S'il n'y a pas de secrétaire, c'est lui qui consigne les mesures à prendre ou les questions qui surgissent pendant l'examen.

**Danger.** Conséquence d'une déviation pouvant entraîner des dommages pour les personnes ou les choses.

**Déviatiion.** Fonctionnement, déroulement de l'opération qui s'écarte de l'intention, c'est-à-dire du fonctionnement ou du déroulement prévu.

**Equipe d'étude.** Petit groupe (habituellement de trois à six personnes) qui réalise l'étude.

**Etude des dangers et des conditions de fonctionnement.** Examen critique systématique de la conception technique et du fonctionnement prévus des installations nouvelles ou existantes en vue de déterminer les risques de dysfonctionnement des différents éléments de l'installation et les conséquences qui en découleraient pour l'ensemble de celle-ci.

**Intention.** Mode d'opération prévu, manière dont l'installation devrait fonctionner, l'opération se dérouler, dans les conditions normales et dans les conditions anormales à prévoir.

**Membres techniques de l'équipe.** Membres sur qui repose l'examen technique proprement dit; il leur appartient, lors des séances d'examen, d'analyser le projet, d'y appliquer leur savoir, leur expérience et leur perspicacité techniques, de déceler les risques et de déterminer les modifications à apporter au projet.

**Mots-guides.** Mots utilisés pour orienter l'examen critique des installations. Pendant les séances d'examen, l'équipe d'étude imagine toutes les déviations possibles. Il y a, grosso modo, sept sortes de déviations, qui peuvent être associées chacune à un mot ou à une proposition déterminé: on les appelle «mots-guides» parce que, appliqués aux éléments d'installation ou aux modes opératoires prévus, ils guident et stimulent la réflexion critique, l'orientant vers les déviations possibles.

**Schéma de processus, de déroulement.** Schéma indiquant le déroulement d'une série d'opérations à l'aide de symboles tels que ceux préconisés par l'AFNOR, l'ASME, etc.

**Séance d'évaluation et de décision.** Dans certains cas, il n'est pas possible de prendre des décisions définitives lors des séances d'examen, le travail débouchant sur une série de questions qui appellent un complément d'étude; les séances d'examen sont alors suivies d'une séance où l'équipe fait le point de chaque question, prend connaissance des études complémentaires et arrête les décisions.

**Séance d'examen.** Réunion de travail (d'une durée de trois heures généralement) pendant laquelle l'équipe examine systématiquement le projet, à l'aide des mots-guides, pour déceler les déviations qui pourraient se produire, établir si ces déviations pourraient engendrer une situation de risque et déterminer, dans l'affirmative, les mesures à prendre.

**Secrétaire.** Personne (dont la désignation est facultative) qui aide à organiser les réunions, prend des notes pendant les séances d'examen et communique aux membres de l'équipe les listes des mesures à prendre, des questions à résoudre, etc.

## 6. Source

La méthode exposée dans les pages qui précèdent l'est sur la base du guide publié par le Conseil de la sécurité et de l'hygiène dans l'industrie chimique de l'Association de l'industrie chimique du Royaume-Uni (Chemical Industries Association, Chemical Industry Safety and Health Council: *A guide to hazard and operability studies* (Londres, 1977)).

Ce guide se fondait sur le rapport préparé par R.E. Knowlton et D.K. Shipley de la Division pharmaceutique de la société Imperial Chemical Industries. Des commentaires très utiles ont été reçus de personnes chargées de la conduite d'études des dangers et des conditions de fonctionnement dans d'autres divisions de cette société. L'exemple présenté ci-après dans la note 1, dû à H.G. Lawley, est repris, avec autorisation, de *Chemical Engineering Progress*, avril 1974.

Le guide a été revu à l'intention de l'industrie chimique en général par des collaborateurs de BP Chemicals Ltd., The Chemical Industries Association Ltd, ICI Central Safety Department et Shell Chemicals (UK) Ltd, sous l'égide du Comité de la sécurité du Conseil de la sécurité et de l'hygiène dans l'industrie chimique (Royaume-Uni).

## 7. Références bibliographiques

- 1 Lawley, H. G.: «Operability studies and hazard analysis», *Chemical Engineering Progress*, avril 1974.
- 2 Farmer, F. R.: *Major loss prevention in the process industries*, Institution of Chemical Engineers Symposium Series, n° 34, 1971, p. 82.
- 3 Stewart, R. M.: *Major loss prevention in the process industries*, *ibid.*, p. 99.
- 4 Houston, D. E. L.: *Major loss prevention in the process industries*, *ibid.*, p. 210.
- 5 Bullock, B. C.: *The development and application of quantitative risk criteria for chemical processes*, Fifth Chemical Process Hazard Symposium, Institution of Chemical Engineers, Manchester, avril 1974.
- 6 Kletz, T. A.: *Hazard analysis - A quantitative approach to safety*, Institution of Chemical Engineers Symposium Series, n° 34, 1971.
- 7 Melinek, S. J.: *Methods of determining the optimum level of safety expenditure*, Building Research Establishment Current Paper, CP88/74.
- 8 Raybould, E. B., et Minter, A.L.: *Problem solving for management* (Londres, Management Publications, 1971), pp. 86-90.
- 9 Nadler, G.: *Work design* (Homewood, Illinois, Irwin, 1963).
- 10 Whitmore, D. A.: *Work study and related management services* (Londres, Heinemann, 1968), p. 183.

### **Note 1. Exemple d'application: production par processus continu**

La méthode présentée ici a été mise au point à l'origine pour l'étude des dangers dans les grandes installations de production par processus continu, sur la base de schémas fonctionnels. Elle a trouvé de très larges applications dans ce domaine, notamment pour les installations suivantes:

- production de méthanol;
- production d'ammoniac;
- installations pétrochimiques;
- production de chlore;
- production de carbonate de sodium.

L'exemple qui suit, tiré d'une étude de H.G. Lawley (référence 1), montre comment la méthode permet de déceler les points faibles d'un projet d'installation et de mettre en évidence certaines exigences fonctionnelles importantes dans un processus continu.

L'installation considérée est une installation de dimérisation d'oléfines. Le système étudié est l'unité d'alimentation. La figure 1.1 donne le schéma de l'unité projetée. Le processus peut être décrit comme suit:

Une fraction d'alcène/alcane contenant une petite quantité d'eau en suspension est pompée de façon continue d'un réservoir de stockage dans un réservoir de décantation par une canalisation de 800 m. L'eau résiduelle se dépose dans le réservoir de décantation, et la fraction est envoyée à travers un échangeur de chaleur et un réchauffeur au réacteur. L'eau, qui entrave la réaction de dimérisation, est purgée périodiquement du réservoir de décantation par une intervention manuelle. Le temps de passage dans l'unité de réaction doit être maintenu dans des limites précisément définies pour assurer une transformation convenable de l'alcène et éviter une polymérisation excessive.

L'étude porte d'abord sur la première section de l'unité d'alimentation, du réservoir de stockage au réservoir de décantation. Les résultats en sont récapitulés dans le tableau 1.1, qui montre comment on a diagnostiqué les risques de dysfonctionnement ou d'incident et déterminé les mesures à prendre.

Il est primordial, avant de commencer l'étude, de définir clairement le mode opératoire prévu. En l'occurrence, il s'agit de transférer une fraction d'alcène/alcane d'une composition déterminée du réservoir de stockage au réservoir de décantation, à une température et avec un débit déterminés, comme le montre la figure 1.1.





**Tableau 1.1.1. Installation de dimérisation d'oléanes, système d'alimentation: étude des dangers et des conditions de fonctionnement**

Le tableau qui suit concerne le secteur compris entre le réservoir de stockage et le réservoir de décantation.

Mot-guide <sup>1</sup>	Déviaton	Causes possibles	Conséquences	Mesures à prendre
Ne pas, pas de	Pas de transfert	<p>1) Pas d'hydrocarbure dans le réservoir de stockage</p> <p>2) Défaillance de la pompe P1 (défaillance du moteur, de l'entraînement, usure de la roue, etc.)</p> <p>3) Obstruction de la tuyauterie (robinet fermé par erreur, blocage du régulateur de débit en position fermée)</p> <p>4) Rupture de la tuyauterie</p>	<p>Interruption de l'alimentation du réacteur, réduction de la production. Réaction de polymérisation dans l'échangeur de chaleur</p> <p>Comme pour 1)</p> <p>Comme pour 1) Echauffement de la pompe P1</p> <p>Comme pour 1) Ecoulement d'hydrocarbure à proximité de la voie publique</p>	<p>a) Assurer une bonne communication avec le préposé au réservoir de stockage</p> <p>b) Installer une alarme de niveau minimum dans le système de régulation du niveau du réservoir de décantation Voir b)</p> <p>c) Installer un dispositif de retour sur les pompes P1</p> <p>d) Vérifier la conception des crépines des pompes P1 Voir b)</p> <p>e) Organiser des inspections régulières de la tuyauterie -</p>
Plus	Débit excessif	5) Blocage du régulateur de débit en position ouverte, circuit de dérivation au niveau du régulateur ouvert par erreur	Remplissage excessif du réservoir de décantation	<p>f) Installer une alarme de niveau maximum dans le système de régulation du niveau du réservoir de décantation et vérifier les caractéristiques du dispositif de trop-plein</p> <p>g) Etablir une procédure de fermeture de la dérivation lorsqu'elle n'est pas utilisée</p> <p>h) Amener le tuyau d'aspiration de la pompe P2 à 30 cm au-dessus du fond du réservoir</p>
	Pression excessive	6) Robinet d'isolement fermé par erreur, fermeture du régulateur de débit alors que la pompe P1 fonctionne	Séparation incomplète de l'eau dans le réservoir, entraînant des problèmes dans le réacteur	<p>i) Régler par c), sauf en cas d'obstruction ou de fermeture du dispositif de retour. Vérifier les caractéristiques de la tuyauterie, du limiteur de débit et des brides; réduire éventuellement la vitesse de fermeture du régulateur de débit. Installer un manomètre en amont du régulateur et un manomètre indépendant sur le réservoir de décantation</p>

Le tableau qui suit concerne le secteur compris entre le réservoir de stockage et le réservoir de décantation.

Mot-guide <sup>1</sup>	Déviaton	Causes possibles	Conséquences	Mesures à prendre
Plus (suite)	Température excessive	7) Dilatation dans une section de tuyauterie isolée par des robinets (incendie, ensoleillement excessif) 8) Température élevée dans l'installation de stockage intermédiaire	Rupture de la tuyauterie ou fuite aux brides  Surpression dans la tuyauterie et dans le réservoir de décantation	j) Installer un dispositif de décompression sur la section (trajet d'évacuation du fluide à décider ultérieurement) k) Vérifier s'il existe un dispositif d'alarme en cas de température excessive dans l'installation de stockage intermédiaire; sinon, en installer un
Moins	Débit insuffisant  Température insuffisante	9) Fuite aux brides ou aux points de montage des robinets 10) Froid hivernal	Ecoulement d'hydrocarbure à proximité de la voie publique Collecteur d'eau et tuyauterie de purge gelés	Voir e); vérifier comme sous i)  j) Munir le collecteur d'un revêtement isolant jusqu'au robinet de purge; appliquer de la vapeur sur le robinet et la tuyauterie de purge
Et en outre	Présence d'acides organiques	11) Problème dans les tours de distillation en amont de l'installation de stockage intermédiaire	Accélération de la corrosion du fond du réservoir, du collecteur d'eau et de la tuyauterie de purge	m) Vérifier si les matériaux utilisés sont appropriés
Incomplètement	Concentration élevée d'eau dans la fraction d'alcène/alcane  Concentration élevée d'alcane/alcènes légers	12) Niveau d'eau élevé dans l'installation de stockage intermédiaire  13) Problème dans les tours de distillation en amont de l'installation de stockage intermédiaire	Remplissage rapide du collecteur d'eau; risque accru de passage d'eau vers le réacteur  Surpression dans le système	n) Procéder à des purges d'eau fréquentes dans l'installation de stockage intermédiaire; installer une alarme de niveau d'eau élevé dans le collecteur o) Vérifier si la conception du réservoir de décantation et de ses tuyauteries et les caractéristiques du dispositif de décompression permettent de faire face à une arrivée soudaine d'hydrocarbures plus volatils
Autre chose	Entretien	14) Défaillance du matériel, fuite aux brides, etc.	Impossibilité de purger complètement la tuyauterie	p) Installer en aval du régulateur de débit un dispositif de purge d'eau au point le plus bas et un dispositif de purge de l'azote, ainsi qu'un évent d'azote sur le réservoir de décantation

<sup>1</sup> Les mots-guides sont appliqués à la définition du mode opératoire prévu, qui indique l'opération que l'installation est supposée effectuer.

Note: L'application du mot-guide "moins" n'a pas fait apparaître de risque en ce qui concerne la pression. L'application du mot-guide «à l'envers» n'en a fait apparaître aucun.

## Note 2. Exemple d'application: production par lots

Un grand nombre des produits spéciaux fabriqués par l'industrie chimique le sont dans des installations de production par lots. C'est le cas notamment des produits suivants:

- produits organiques intermédiaires;
- colorants;
- produits spéciaux tels que les anti-oxydants;
- produits pharmaceutiques de base;
- produits de fermentation;
- certains polymères.

Une série de produits fabriqués sur formule le sont de la même manière:

- médicaments spécialisés;
- peintures;
- catalyseurs;
- émulsions photographiques;
- cosmétiques;
- formules spéciales.

La production par lots se distingue de la production par processus continu par les caractéristiques suivantes:

1. Le tableau fonctionnel des installations se modifie périodiquement, et les schémas de déroulement ont une valeur assez limitée.
2. On met généralement en œuvre des processus complexes, dans des unités polyvalentes, pour la production de produits multiples; les installations, en d'autres termes, comportent de très nombreuses possibilités d'interconnexion.
3. Le personnel est parfois appelé à intervenir directement dans les opérations, par exemple pour décharger des filtres.

Pour illustrer l'application de la méthode d'étude des dangers et des conditions de fonctionnement dans une installation de production par lots, on prendra l'installation (fictive) représentée par la figure 2.1, qui comprend deux récipients de dosage, quatre cuves de réaction, un condenseur, une colonne d'absorption et une unité

de filtration avec un récipient pour le produit filtré. Il s'agit d'une installation assez typique, encore qu'elle ait été simplifiée et que beaucoup d'éléments aient été omis (raccordements aux récipients ou aux cuves, évents, admissions de gaz inerte, disques de rupture, circuits de réchauffement ou de refroidissement, etc.).

Le schéma de l'installation doit être complété par les consignes d'exploitation, présentées généralement en tableau – comme le tableau 2.1 en donne un exemple pour le cas considéré ici –, avec le numéro de chaque opération, sa description, l'indication des précautions à prendre et une colonne où l'ouvrier chargé de l'opération inscrit ses initiales à la fin de celle-ci.

Il peut être utile d'établir un tableau fonctionnel indiquant à tout moment l'état de chaque élément de l'installation pour un cycle complet (ces tableaux sont généralement élaborés par les services d'ordonnancement). Ainsi, dans l'exemple considéré, on peut imaginer qu'au même moment le lot 1 se trouve dans la phase de filtration; le lot 2, dans la phase de réaction dans la cuve 3; le lot 3, en cours de transfert de la cuve 1 à la cuve 2; le lot 4, en cours de préparation au stade du dosage des produits.

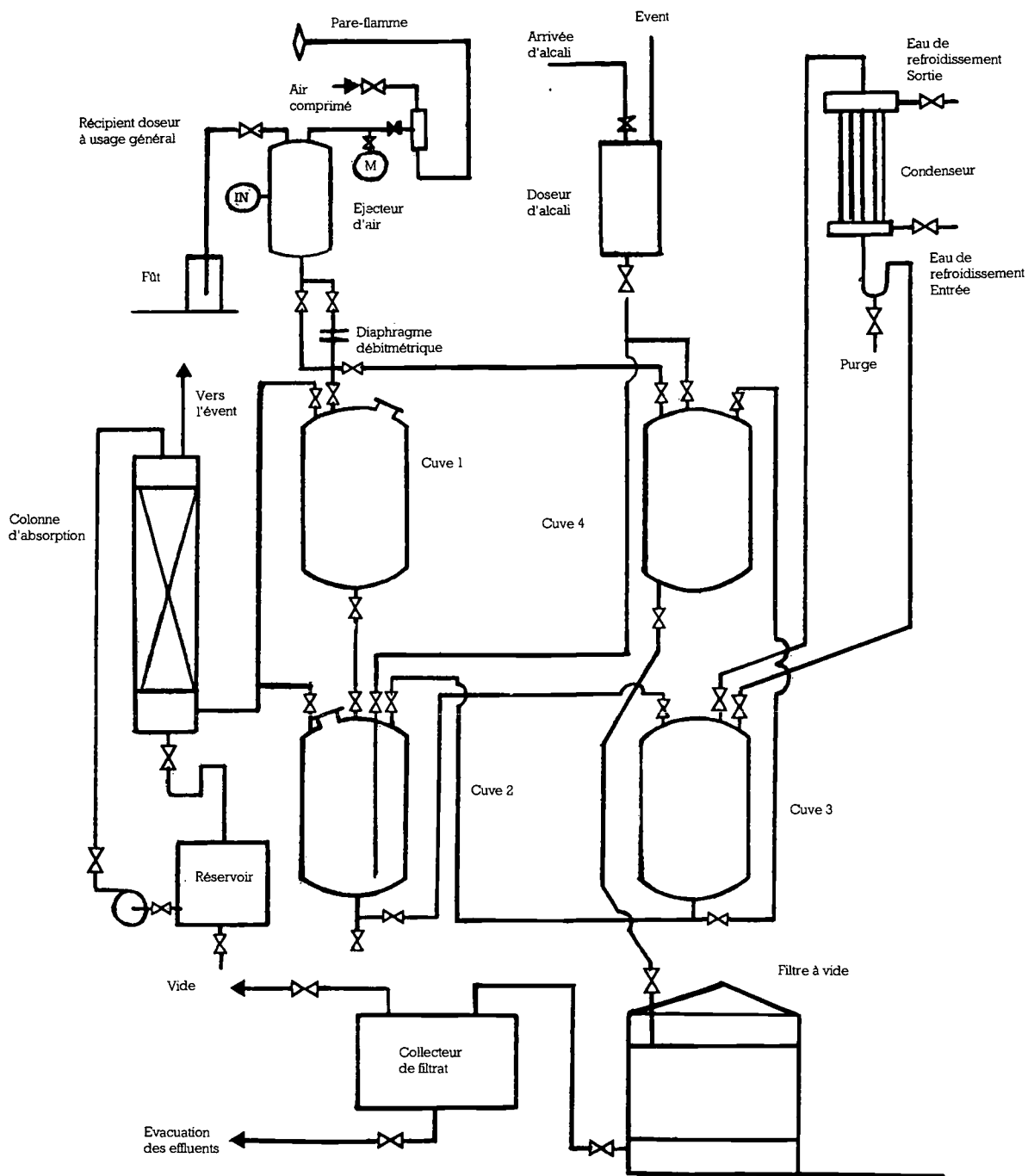
Enfin, il peut être nécessaire de préparer des diagrammes de déroulement pour les interventions du personnel chargé de la conduite des installations, comme on le verra dans la note 3.

### Conduite de l'étude

Au stade préparatoire, le chef d'étude devrait établir (mentalement au moins) un plan de travail. Il lui faut décider en premier lieu comment il entend conduire l'étude, soit phase par phase, en suivant les processus (selon les schémas de processus), soit, pour chaque secteur de l'installation, opération par opération, en suivant les consignes d'exploitation.

Supposons qu'il décide de procéder opération par opération, en suivant les consignes d'exploitation. Celles-ci commenceront par une série d'opérations préparatoires: mise en marche des agitateurs, ouverture des robinets d'eau des circuits de refroidissement, vérification des cuves, etc. Nous partirons, pour cet exemple, de la

Figure 2.1. Installation de production par lots (schéma simplifié)



M = Manomètre  
 IN = Indicateur de niveau

consigne 23 (tableau 2.1): «Charger 100 litres de produit C du fût dans le récipient doseur à l'aide de l'éjecteur d'air».

Parfaitement claire pour un ouvrier expérimenté, cette consigne est trop complexe pour rechercher, à l'aide des mots-guides, les possibilités de déviation. Le chef d'étude devrait donc voir comment traiter chaque consigne, soit au stade préparatoire, soit pendant les séances d'examen. En l'occurrence, il peut distinguer, dans la consigne, deux éléments concernant, l'un, le fonctionnement de l'éjecteur, l'autre, le transfert du liquide.

Le chef d'étude demande à un membre de l'équipe de décrire la fonction de l'éjecteur. Cette fonction peut être décrite comme suit: «Evacuer une certaine quantité d'air du récipient doseur». Les mots-guides sont appliqués à cet énoncé, l'examen portant sur le récipient doseur et ses accessoires. Les résultats sont indiqués au tableau 2.2.

Le deuxième élément de la consigne peut être formulé comme suit: «Charger 100 litres de produit C dans le récipient doseur». L'application des mots-guides donne les résultats reproduits au tableau 2.3.

L'équipe peut parfois résoudre sur-le-champ certains problèmes. C'est ainsi qu'il est possible de prévenir plusieurs risques en précisant le dernier élément de la consigne 23: «en créant un vide partiel». Cette modification peut être approuvée par l'équipe à ce stade. Le chef d'équipe indique, en apposant ses initiales, que la consigne a été examinée.

L'équipe s'attaque ensuite à la consigne 24: «Transférer 100 litres de produit C du récipient doseur dans la cuve 1 à travers le diaphragme débitométrique». Assez simple pour être examinée sans être préalablement décomposée, cette consigne n'est cependant pas tout à fait explicite. Le chef d'étude demande à un membre de l'équipe de préciser l'intention exacte, qui peut être d'alimenter la cuve 1 à un débit restreint pour éviter une réaction trop forte. Les résultats de l'examen sont indiqués au tableau 2.4.

Ici encore, l'équipe peut s'attacher à résoudre certains problèmes. Elle pourrait décider par exemple d'installer un récipient doseur spécial avec diaphragme débitométrique pour le produit C, afin de prévenir certains risques. Si la chose peut être faite sans difficulté, l'équipe peut modifier et vérifier le schéma et les consignes sur-le-champ; au contraire, si l'on se heurte à des complications – par exemple le raccordement de deux récipients à un seul éjecteur –, il faudra au besoin étudier la modification en dehors des séances d'examen. Ici encore, le chef d'étude indique, en apposant ses initiales, que la consigne a été examinée, avant de passer à la suivante.

L'étude des dangers et des conditions de fonctionnement, qui permet de contrôler la sécurité des installations, permet aussi de vérifier les procédures et les consignes d'exploitation, d'y déceler les ambiguïtés ou les points obscurs et de formuler des consignes précises.

**Tableau 2.1. Présentation type des consignes d'exploitation**

N°	Opération	Précautions	Initiales
23	Charger 100 litres de produit C du fût dans le récipient doseur à l'aide de l'éjecteur d'air	Porter une cagoule à adduction d'air, des gants en PVC et un tablier	
24	Transférer 100 litres de produit C du récipient doseur dans la cuve 1 à travers le diaphragme débitométrique	S'assurer que le produit s'écoule exclusivement à travers le diaphragme	

**Tableau 2.2. Fonctionnement de l'éjecteur**

Mode opératoire prévu: l'éjecteur évacue une certaine quantité d'air du récipient doseur

Déviaton	Causes	Conséquences
N'évacue pas d'air	Pas d'air comprimé Défaillance de l'éjecteur Robinet fermé	Perturbation du processus mais pas de risque
Evacue trop d'air	Evacuation complète de l'air du récipient doseur	Le récipient résiste-t-il au vide?
N'évacue pas assez d'air	Dépression insuffisante pour aspirer le contenu du fût	Perturbation du processus mais pas de risque
Evacue de l'air et autre chose	Des gouttelettes du produit C ou d'autres produits sont aspirées du fût ou des cuves 1 ou 4 et entraînées dans la tuyauterie d'aspiration	Risque d'incendie? Risque d'électricité statique? Risque de corrosion? Obstruction du pare-flamme? Le produit présente-t-il un risque après passage dans le pare-flamme? Où va-t-il?
Evacue une partie de l'air	Evacuation de l'oxygène ou de l'azote seul: n'est pas possible	
Opère à l'envers	Si la tuyauterie sortant de l'éjecteur est obstruée, l'air comprimé passe dans le récipient doseur	Surpression dans le récipient? Refoulement de l'air dans le fût et dispersion du contenu de celui-ci? Refoulement dans les cuves 1 ou 4?
Fait autre chose	L'éjecteur est mis en marche alors que le récipient doseur est plein	Le contenu est entraîné sous forme pulvérisée dans la tuyauterie et à travers le pare-flamme. Risques semblables à ceux engendrés par la quatrième déviation

**Tableau 2.3. Chargement du récipient doseur**

Mode opératoire prévu: chargement de 100 litres de produit C dans le récipient doseur

Déviaton	Causes	Conséquences
Pas de chargement	Pas de produit C Robinet fermé	Pas de risque
Chargement excessif	Chargement d'une quantité supérieure à 100 litres	En cas de surremplissage du récipient, si l'éjecteur continue à fonctionner, du produit C est aspiré dans l'éjecteur, ce qui entraîne les risques déjà indiqués au tableau 2.2. Comment l'excès de produit C peut-il être enlevé sans danger?
Chargement insuffisant	Chargement d'une quantité inférieure à 100 litres	Aucun risque à ce stade
Chargement du produit C et d'autre chose	Production d'un mélange du produit C et d'autre chose dans le récipient Etablir la liste des mélanges possibles	Risque de formation de mélanges dangereux
Chargement d'une partie du produit C	Impossible: le produit C n'est pas un mélange	

**Tableau 2.3. Chargement du récipient doseur (suite)**

Mode opératoire prévu: chargement de 100 litres de produit C dans le récipient doseur

Déviaton	Causes	Conséquences
Inversion du sens de l'opération	Ecoulement du produit C du récipient doseur vers le fût	Débordement du produit hors du fût Risque de formation d'un aérosol?
Autre opération	Confusion de fûts Etablir la liste des autres produits	Risque de réaction ou de corrosion dans le récipient doseur

**Tableau 2.4. Transfert du produit C du récipient doseur dans la cuve 1 à travers le diaphragme débitométrique**

Mode opératoire prévu: transfert de 100 litres de produit C du récipient doseur dans la cuve 1 à un débit déterminé

Déviaton	Causes	Conséquences
Pas de transfert	Tuyauterie obstruée Robinets fermés Pression trop élevée dans la cuve 1	Perturbation du processus mais pas de risque
Transfert excessif	Transfert d'une quantité supérieure à 100 litres  Transfert à un débit excessif par contournement du diaphragme débitométrique ou parce qu'un diaphragme trop grand a été installé	Surremplissage de la cuve 1 Conséquences chimiques? Risque de débordement? En cas de débordement, direction de l'écoulement? Conséquences d'une vitesse de réaction excessive? Risque d'électricité statique?
Transfert insuffisant	Transfert d'une quantité inférieure à 100 litres Du produit C reste dans la tuyauterie de transfert Du produit C reste dans le récipient doseur	Sous-remplissage de la cuve 1. Conséquences chimiques? Risque de maintien d'une section de la tuyauterie sous pression Quel est le prochain produit qui doit être chargé dans le récipient doseur? Conséquences d'un mélange avec le produit C?
Transfert du produit C et d'autre chose	Le produit C est contaminé Etablir la liste des contaminants possibles Mélange d'air avec le produit C	Effets des contaminants? Effet de la présence d'air dans la cuve 1?
Transfert d'une partie du produit C	N'a pas de sens	
Inversion du sens du transfert	Du produit C peut s'écouler de la cuve 1 vers le récipient doseur si la cuve est pleine et sous pression	Conséquences?
Autre opération	Transfert d'un autre produit que C Etablir la liste des autres produits possibles	Conséquences?
Transfert vers un autre endroit	Transfert du produit C dans la cuve 4	Déterminer le produit qui se trouve dans la cuve 4 à ce stade et les conséquences de l'addition du produit C



### **Note 3. Exemple d'application: appareil de fabrication standard**

L'étude des dangers et des conditions de fonctionnement peut porter sur des opérations isolées telles que les opérations de broyage, de malaxage, de séparation, de séchage, de distillation, de pastillage, de conditionnement stérile, de polymérisation, de craquage ou de mélange. Fréquemment, ces opérations s'effectuent dans des appareils de fabrication standard tels que des centrifugeuses ou des sècheurs atomiseurs, qui doivent faire l'objet s'il y a lieu d'une étude approfondie quant à leur principe de fonctionnement et aux interactions possibles avec les produits mis en œuvre et les autres éléments des installations. La méthode se prête également à l'étude d'installations auxiliaires telles que les chaudières, les incinérateurs ou les réservoirs de stockage.

L'exemple considéré ici concerne l'autoclave de stérilisation dont le schéma est reproduit à la figure 3.1.

Le produit, chargé sur des plateaux, est stérilisé, à l'aide d'un gaz stérilisant humidifié à la vapeur, dans un autoclave à chemise chauffante. L'autoclave possède deux portes, l'une du côté de la zone de travail stérile, l'autre du côté de la zone non stérile de l'installation.

L'autoclave est alimenté en vapeur par un dispositif de détente et en gaz stérilisant par un

vaporisateur. De l'air filtré peut y être admis par un clapet antiretour. L'autoclave comporte une évacuation, à travers un refroidisseur, soit directement à l'égout, soit à travers un filtre vers la cheminée. Il comporte en outre deux canalisations de décharge dans la cheminée, l'une par la soupape de sûreté, l'autre par un robinet de décharge. L'eau qui circule dans la chemise est chauffée indirectement par la vapeur.

Une fois l'autoclave chargé et les portes fermées, un programme automatique commande les opérations comme l'indique le diagramme de la figure 3.2. L'appareil vérifie lui-même le déroulement du cycle et surveille l'état de la chambre et de ses dispositifs; il opère, grâce à une minuterie, une série de contrôles automatiques (voir figure 3.2).

Lorsqu'on établit le schéma de fonctionnement d'une installation de ce genre, il faut tenir compte du fait que les opérations sont commandées à la fois par l'ouvrier et par la machine et que l'ouvrier intervient directement dans la manutention. Cette intervention est décrite par le schéma de déroulement reproduit à la figure 3.3, à l'aide des symboles utilisés en étude des méthodes (voir figure 3.4).

Pour une étude de ce genre, il convient de procéder étape par étape, comme l'indique le tableau 3.1. On verra ici comment conduire l'étude des étapes 2 et 4: passage en autoclave, chargement de l'autoclave.

Figure 3.1. Installation de l'autoclave

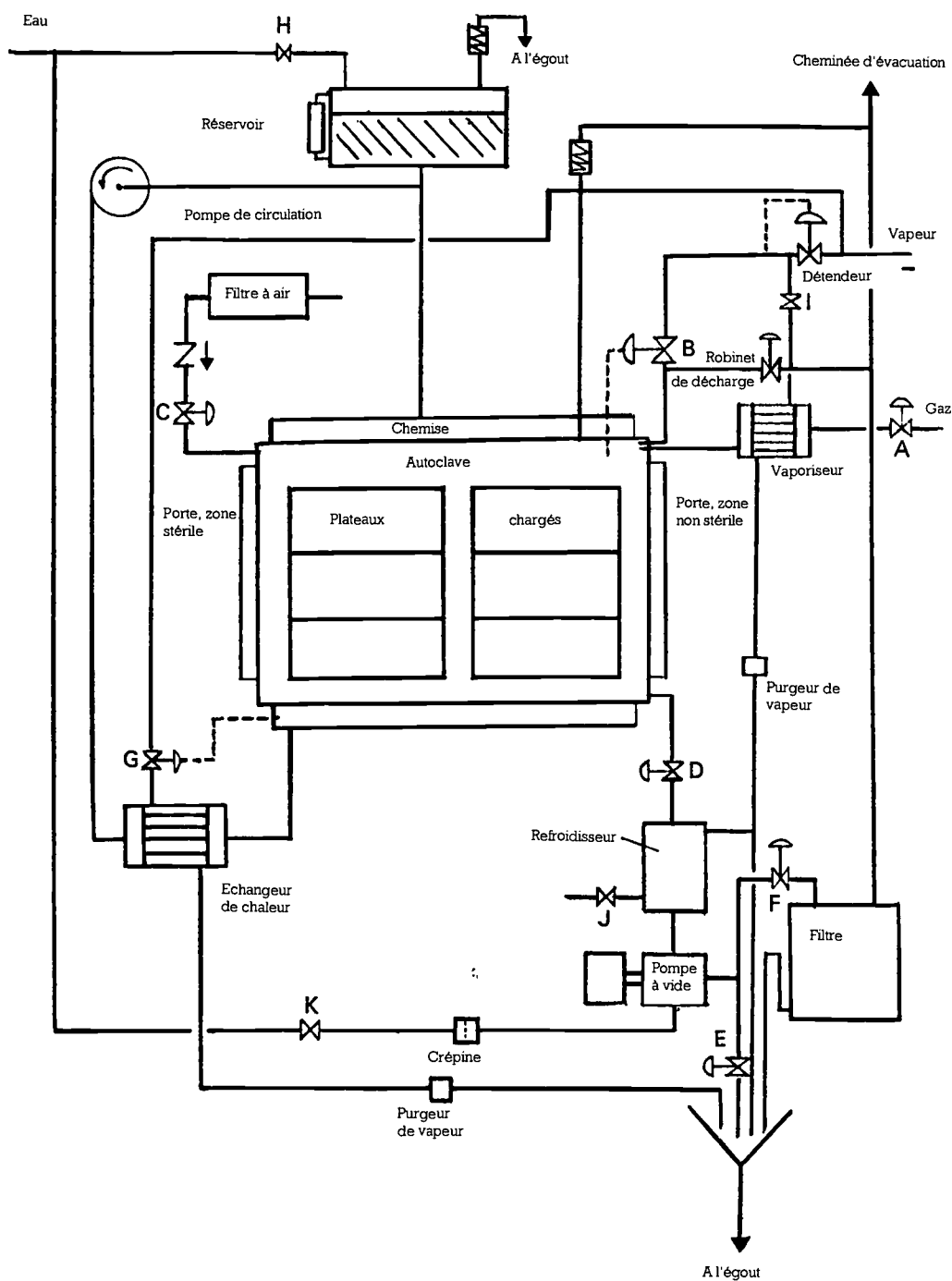
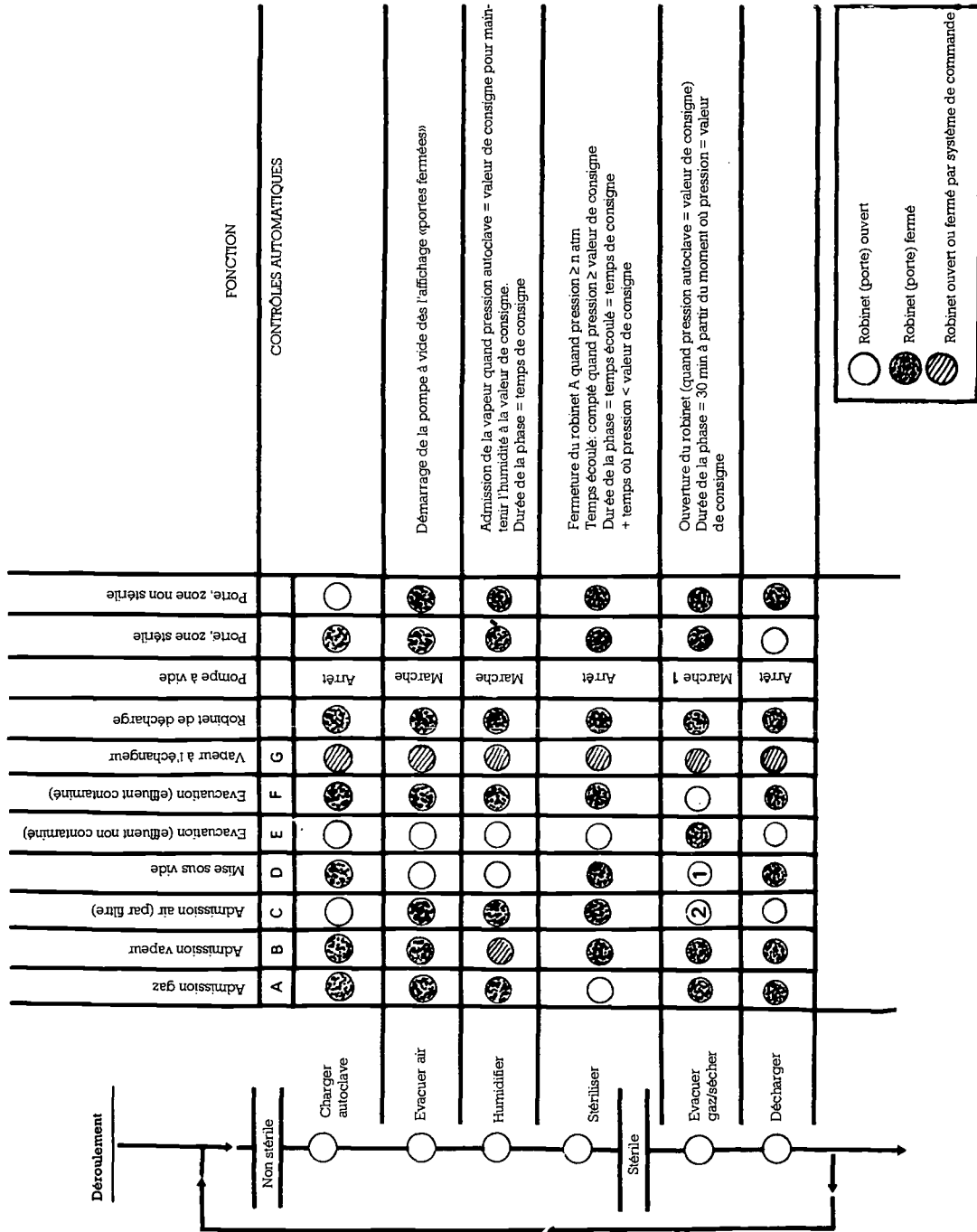


Figure 3.2. Autoclave: séquence des opérations, programme de commande



**Tableau 3.1. Plan d'examen de l'autoclave**

Etape	Objet et caractéristiques	Méthode
1	Examen de l'appareil dans son contexte. Axé sur les situations de risque extrême	Liste de contrôle Méthode interactive
2	Opérations en autoclave. Examen axé sur la commande de l'installation et les opérations commandées automatiquement	Diagramme combiné de déroulement et de commande des opérations (fig. 3.2.)
3	Examen des circuits et des appareils auxiliaires et des systèmes à commande manuelle (pour le processus lui-même et pour les fonctions auxiliaires)	Examen élément par élément
4	Manutention. Examen axé sur les instructions relatives au chargement et au déchargement des plateaux à l'aide du chariot élévateur	Diagramme de déroulement (fig. 3.3)
5	Consignes complémentaires (mise en marche et arrêt de l'appareil, préparation pour l'entretien)	Examen des consignes

### Passage en autoclave

Quand les conditions régnant dans une installation se modifient au cours d'une série de phases successives, il faut concevoir un modèle qui mette en relation l'installation et le mode opératoire prévu. En l'occurrence, il est possible de le faire à l'aide d'un diagramme de déroulement et d'un diagramme de commande des opérations. Il importe que l'équipe d'étude connaisse à fond l'installation. La configuration de celle-ci est indiquée par le schéma de la figure 3.1.

En appliquant les mots-guides aux instructions programmées de la machine, il convient de suivre chaque possibilité de déviation jusqu'au point où le système de commande arrête le phénomène. Il se peut qu'il faille ainsi suivre la déviation au long de plusieurs phases successives du processus (voir au long de tout le processus) en cherchant à déterminer, à l'aide du schéma, toutes les conséquences qui pourraient présenter des risques.

On prendra ici comme exemple la troisième phase du programme: Humidifier l'autoclave. Le tableau 3.2 indique les possibilités de déviation.

**Tableau 3.2. Opérations en autoclave**

Mode opératoire prévu (troisième phase): humidification de l'autoclave au degré d'humidité requis

Déviaton	Causes	Conséquences
Pas d'humidification	Robinet B fermé Détendeur fermé Tuyauterie de vapeur obstruée Robinet de décharge ouvert Toute la vapeur va au vaporiseur  Tuyauterie rompue	Risque pour le produit; sec, le gaz stérilisant n'est pas efficace
Humidification excessive	Trop de vapeur Détendeur bloqué en position ouverte  Pression/température de la vapeur excessive	Risque de surpression dans l'autoclave? La soupape de sûreté peut-elle assurer une évacuation suffisante face à une arrivée de vapeur de débit maximal?  Le produit est-il sensible à la température ou à la pression? Effets d'une température ou d'une pression élevée sur les garnitures d'étanchéité de l'autoclave, par exemple les joints des portes?
Humidification insuffisante	Trop peu de vapeur Pression/température de la vapeur trop basse	Le produit peut-il souffrir de la condensation?
Humidification et arrivée d'autre chose	Impuretés dans la vapeur, par exemple du CO <sub>2</sub> , des produits de condensation, de l'air, des particules de rouille Arrivée simultanée de gaz stérilisant (robinet A)  Arrivée simultanée d'air (robinet C) Arrivée simultanée d'impuretés venant de la cheminée (robinet de décharge) Atmosphère de l'usine (défaut d'étanchéité des portes) Défaillance de la pompe à vide	Effets sur le produit?  Expulsion de gaz avec l'air. Du gaz dans l'atmosphère de l'usine. Faut-il prévoir un deuxième robinet d'admission? Réduction de l'efficacité de l'humidification Possibilité d'entraînement de gaz provenant d'autres autoclaves Pas de risque à ce stade, mais possibilité de fuite lors de la stérilisation Pénétration dans l'autoclave d'impuretés provenant de la tuyauterie d'évacuation
Humidification incomplète	Arrivée de vapeur mais défaut de vide (défaillance de la pompe ou robinet D fermé)  Mise sous vide, mais pas de vapeur	Autoclave partiellement pressurisé. Produit très humide, température trop élevée. Autoclave partiellement rempli d'eau. Poursuite du cycle, mais le gaz risque de ne pas être admis à cause de la pression Poursuite du cycle. Si le manque d'humidité n'est pas décelé et si aucune mesure n'est prise, le produit ne sera pas stérile
Opération inverse	Séchage sous vide	Pas de vapeur. Comme ci-dessus
Autre opération	Stérilisation sans phase d'humidification	Poursuite du cycle, mais le produit ne sera pas stérile (comme ci-dessus)

### Chargement de l'autoclave

Un graphique de déroulement (voir figure 3.3) est établi pour le chargement de l'autoclave à l'aide d'un chariot élévateur à conduite manuelle. On peut élaborer des graphiques de ce genre pour n'importe quelle opération à l'aide des symboles reproduits à la figure 3.4. L'échelle du graphique peut être choisie suivant les besoins. La méthode se

trouve exposée dans différents ouvrages (voir les références 8 à 10).

Les mots-guides sont appliqués à chaque opération indiquée sur le graphique. On considérera ici la sixième opération: Avancement de la fourche (introduction du plateau). Le tableau 3.3 indique les possibilités de déviation.

**Tableau 3.3. Chargement de l'autoclave**

Mode opératoire prévu (sixième opération): avancement de la fourche du chariot (introduction du plateau dans l'autoclave)

Déviation	Causes	Conséquences
La fourche n'avance pas	Défaillance mécanique du chariot	Arrêt de la production Comment est récupérée la charge?
La fourche avance trop		Heurt de la charge contre la porte opposée Porte opposée ouverte sous le choc ou endommagée Contamination de la zone stérile La porte risque de ne plus être hermétique: risque de fuite de gaz
La fourche n'avance pas assez		La charge est déstabilisée et tombe en arrière
La fourche avance et fait en outre autre chose	La fourche s'élève  La fourche s'abaisse  Le chariot se déplace	La charge est prise entre la fourche et le haut de l'autoclave; dégâts au produit L'autoclave peut-il être soulevé de son assise? Endommagement du capteur hygrométrique: risque de fuite de gaz Endommagement du seuil de la porte et du joint: fuites Charge déstabilisée sur la fourche en position avancée
Opération incomplète	L'opération se déroule trop vite	Une partie de la charge tombe du plateau; que fait-on du produit répandu? Produit endommagé; qu'en fait-on dans la zone stérile?
Opération inverse	Le plateau ne se dégage pas de la fourche	Le plateau est sorti de l'autoclave; chute du produit? La charge est endommagée
Autre déroulement	Erreur dans l'opération	Erreur quant au produit chargé dans l'autoclave; à l'autoclave où le produit est chargé; et au produit et à l'autoclave

Figure 3.3. Chargement de l'autoclave: graphique de déroulement

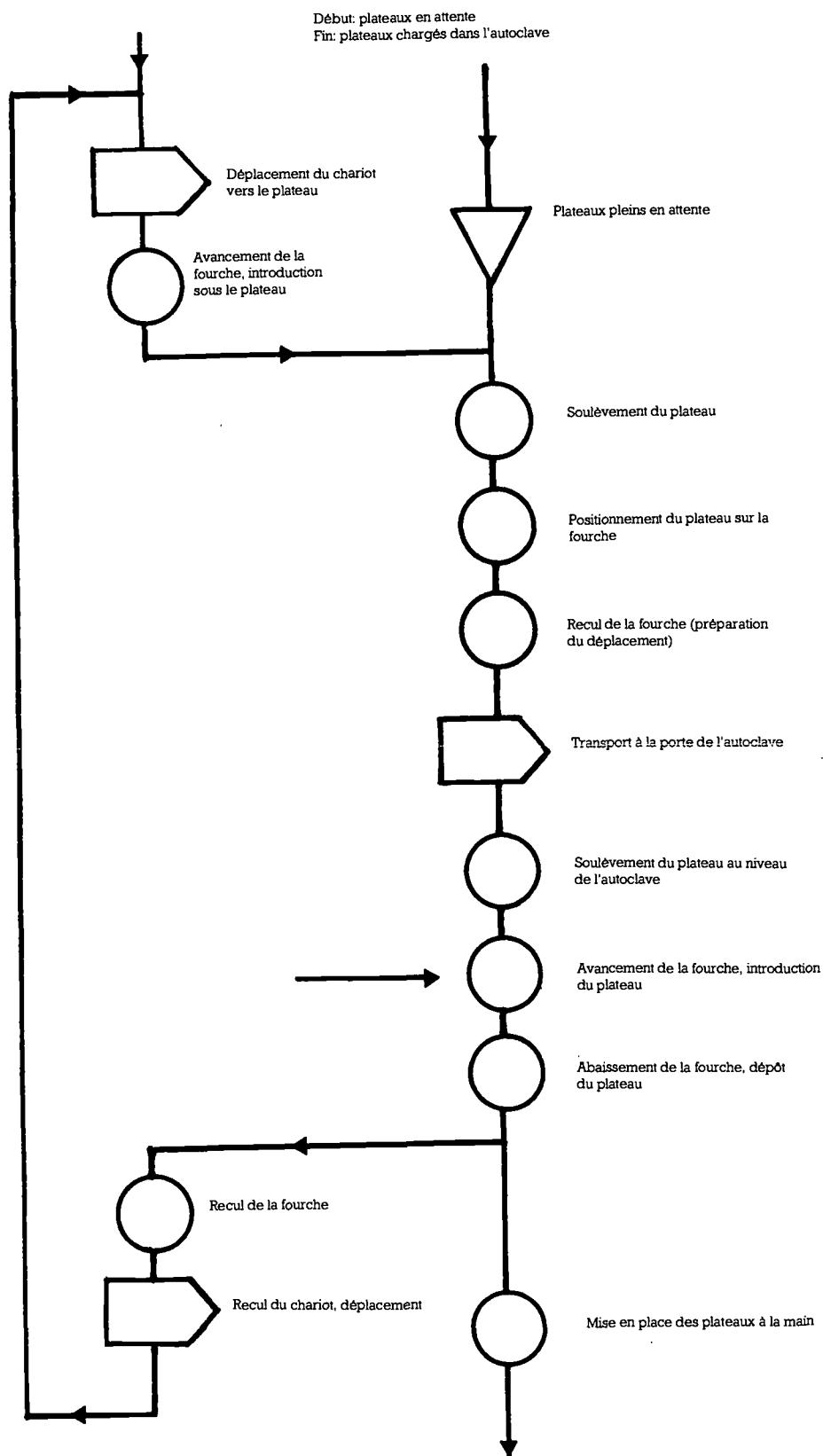
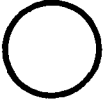






Figure 3.4. Graphiques de déroulement = symboles<sup>1</sup>

SYMBOLE	ACTIVITÉ	RÉSULTAT PRINCIPAL
a 	OPÉRATION	Production, exécution, modification, opération faisant avancer le processus
b 	CONTRÔLE	Contrôle de la qualité, vérification de la quantité
c 	TRANSPORT	Déplacement, transport
d 	DÉLAI	Délai, retard, attente
e 	STOCKAGE	Conservation, stockage durable

<sup>1</sup> Symboles préconisés pour l'étude des méthodes par la Société des ingénieurs mécaniciens des Etats-Unis (ASME = American Society of Mechanical Engineers).



#### **Note 4. Comment lancer un programme d'études des dangers et des conditions de fonctionnement**

Le lancement d'un programme d'études des dangers et des conditions de fonctionnement peut être dicté par la volonté d'améliorer la sécurité, quand bien même le niveau général de sécurité dans l'entreprise serait bon, ou encore par l'intérêt porté à la méthode par certains membres de l'entreprise, qui en ont entendu parler et qui souhaitent l'essayer.

Les modalités de lancement du programme dépendent évidemment des caractéristiques de l'entreprise. On peut observer quatre grandes démarches:

- la démarche empirique;
- la démarche évolutive;
- la démarche éducative;
- le programme d'urgence.

##### **La démarche empirique**

Certainement utile, le concours de spécialistes – qui permet de former plus rapidement les gens et de réaliser ainsi une économie – n'est nullement indispensable. Les pionniers de l'étude des dangers n'avaient pas d'experts pour les conseiller, et plusieurs entreprises ont lancé leur programme sur des bases beaucoup moins solides que celles que le lecteur a déjà acquises ici.

Il s'agit au départ de décider de faire un essai et de désigner à cet effet un chef d'étude. Cette personne devrait avoir de préférence une formation technique, de l'expérience dans la fonction de production et une certaine connaissance de l'étude des méthodes en général et de la procédure d'examen critique en particulier.

Le chef d'étude devrait étudier à fond le présent guide et faire ensuite pour lui-même un exercice d'application en s'attaquant à un problème simple, par exemple l'étude d'un réservoir de stockage de solvants alimenté par camion-citerne.

Fort de cet acquis, le chef d'étude devrait discuter et choisir avec la direction le sujet de la première expérience réelle – étude d'une installation existante ou d'une installation nouvelle au

stade du projet définitif, par exemple – et former son équipe.

A ce stade, le chef d'étude pourra organiser un cours d'initiation pour les membres de l'équipe et les personnes susceptibles d'être appelées par la suite à conduire des études analogues. Le programme du cours pourrait être le suivant:

- 1) introduction générale et objectifs du cours;
- 2) principes de l'examen critique (on pourra se fonder sur les sections 2.1, 2.2 et 2.3 de l'exposé de la méthode);
- 3) explication de la procédure détaillée d'examen (voir figure 2);
- 4) exercice (fondé sur le travail que le chef d'étude aura fait sur le réservoir de stockage, par exemple, ou sur un autre exemple simple); les participants travailleront en petits groupes (de quatre personnes par exemple) à l'aide du tableau 1.

L'équipe aura alors une formation suffisante pour s'attaquer à l'étude du sujet choisi. Le travail avancera sans doute assez lentement pendant les premières séances d'examen, jusqu'à ce que le chef et son équipe commencent à bien maîtriser la méthode.

##### **La démarche évolutive**

Il s'agit en premier lieu d'obtenir l'accord d'un groupe de collègues, dont le responsable de la sécurité. Un chef d'étude est alors engagé de l'extérieur pour une étude d'initiation. Une réunion préliminaire est organisée, avec la participation du chef d'étude et des collègues intéressés; la tâche de cette réunion est:

- 1) de déterminer s'il est possible d'appliquer la méthode et de convaincre les intéressés qu'il vaut la peine de l'essayer;
- 2) de choisir le projet à étudier à titre d'essai;
- 3) de déterminer les objectifs de l'étude;
- 4) d'évaluer la durée de l'étude;
- 5) de choisir l'équipe;
- 6) de s'assurer de l'existence des ressources nécessaires pour apporter un appui technique à l'équipe, comme de la possibilité de mettre en œuvre les décisions de celle-ci.

Il existe différents critères pour le choix du projet. Il importe avant tout de retenir un sujet d'étude qui n'exige pas trop de temps et qui donne des résultats assez immédiats. Lors de la sélection de l'équipe pour la première étude, il est souhaitable de tenir compte des implications à long terme du lancement d'un programme (par exemple quant à l'opportunité de former un chef d'étude dans l'entreprise même).

Il convient alors de discuter l'étude envisagée avec les membres de l'équipe et de définir, avec le chef d'étude, la marche à suivre. On analysera les données disponibles et on veillera à recueillir celles qui manqueraient.

Pour le reste, l'étude se déroule comme on l'a vu plus haut. Si le sujet choisi est assez limité et que l'étude ne doit prendre que deux ou trois jours, le chef d'étude peut rester en fonction pendant toute cette période, ce qui est la solution idéale. Si l'étude doit durer plus longtemps, il peut y avoir intérêt à former dans l'entreprise un chef d'étude qui puisse prendre la relève.

Après la première démonstration (concluante, il faut l'espérer), les études peuvent être graduellement étendues aux différents secteurs de l'entreprise et devenir une activité normale.

### **La démarche éducative**

Cette démarche relève généralement de l'initiative de la direction. Elle demande des moyens importants, notamment sur le plan de l'encadrement et de la formation, et doit procéder de ce fait d'une décision de politique générale.

Lorsqu'on choisit cette approche, il convient:

- 1) de s'assurer le concours de spécialistes qui aient les qualifications et l'expérience nécessaires pour former un ou, au besoin, plusieurs chefs d'étude;
- 2) d'organiser des cours d'initiation pour les cadres supérieurs et moyens, afin qu'ils apportent leur appui aux équipes;
- 3) d'organiser, à l'intention de ceux qui conduiront effectivement les études, des cours d'initiation et des cours de formation pour les membres des équipes.

La question de la formation est traitée plus longuement dans la note annexe 5.

### **Les programmes d'urgence**

L'action est généralement déclenchée ici par la nécessité, constatée au niveau de la direction, d'agir rapidement.

L'organisation du programme va droit au but. On constitue des équipes et on engage des chefs d'étude chargés de les diriger et d'en former les membres, comme de former des chefs d'étude dans l'entreprise même.

Il faut, pour les programmes de ce genre:

- 1) que la nécessité en soit reconnue à tous les niveaux de la direction;
- 2) que la méthode puisse se prêter à l'étude des problèmes rencontrés;
- 3) qu'il soit possible de trouver rapidement des chefs d'étude expérimentés;
- 4) que l'entreprise dispose des ressources nécessaires pour la mise en œuvre des mesures que l'étude dictera.

## Note 5. Formation

L'étude des dangers et des conditions de fonctionnement des installations industrielles appelle quatre grands types de formation:

- information des cadres supérieurs;
- formation des membres des équipes;
- formation des chefs d'étude;
- formation des secrétaires.

La question peut également être abordée dans les programmes généraux de formation des cadres.

### Information des cadres supérieurs

Ce cours devrait permettre aux cadres de comprendre la méthode et de voir quand il est possible de l'appliquer et quels résultats il est possible d'en attendre sur le plan de la prévention des risques, de l'amélioration des procédés et du renforcement de la sûreté générale des opérations.

La formation devrait porter également sur les problèmes de relations humaines. Il est important d'adopter une attitude stricte quand des défauts sont décelés. Les études sont aussi un très utile instrument de perfectionnement professionnel du personnel.

Un cours de ce genre devrait durer une demi-journée environ.

### Formation des membres des équipes

Cette formation est davantage axée sur l'exécution des études et, en particulier, sur la procédure d'examen critique. Il devrait être possible de mener le cours à bien en y consacrant de une demi-journée à deux journées, suivant la méthode de formation et la place faite aux exercices pratiques.

Si, dans une équipe qui s'apprête à entreprendre une étude, certaines personnes ne

connaissent pas la méthode, le chef d'étude peut organiser une brève séance de formation, de une à trois heures, immédiatement avant le début du travail.

### Formation des chefs d'étude

Les chefs d'étude doivent posséder, pour planifier et conduire les études, un ensemble de qualifications techniques et de talents d'organisation et de gestion; ils doivent avoir acquis une solide expérience en participant à des études comme membres d'une équipe ou comme secrétaires et en conduisant eux-mêmes sous la surveillance d'un chef d'étude expérimenté.

La fonction exige en principe la formation et l'expérience suivantes:

- 1) expérience dans la production en tant que cadre ou ingénieur (plusieurs années);
- 2) expérience dans le domaine de l'étude technique des installations;
- 3) formation et expérience dans le domaine de la solution des problèmes (étude des méthodes et techniques de conseil notamment);
- 4) connaissance étendue de la littérature spécialisée;
- 5) expérience au niveau de membre d'une équipe;
- 6) expérience au niveau de secrétaire;
- 7) expérience au niveau de chef d'étude en formation (sous la surveillance d'une personne confirmée).

### Formation des secrétaires

Les secrétaires doivent avoir une bonne idée de la méthode. Ils doivent savoir en outre prendre des notes brèves et claires (quant aux installations examinées, à la nature des risques, aux circonstances dans lesquelles ceux-ci peuvent surgir, etc.).

## Note 6. Institutionnalisation des études

On a vu dans les notes 4 et 5 comment lancer un programme d'études dans une entreprise et quelle formation donner au personnel. Ce n'est là qu'un début. Pour tirer le meilleur parti des études, il convient de les faire entrer en quelque sorte dans la routine de l'entreprise.

Il est difficile de formuler des règles à ce sujet, car les structures administratives diffèrent beaucoup d'une entreprise à l'autre; la manière dont les études auront été introduites peut aussi influencer sur la situation. L'expérience permet toutefois de proposer la démarche suivante.

Dans les secteurs de l'industrie chimique où l'étude systématique des dangers et des conditions de fonctionnement s'est le plus solidement imposée, la direction générale des études est confiée dans l'entreprise à un service spécialisé, où l'on trouve des chefs d'étude expérimentés, qui assure la formation nécessaire et apporte ses conseils et son assistance pour l'application de la méthode. Ce service se charge de la conduite d'une partie des études, mais pas nécessairement de toutes. Il s'attache aussi à mettre au point des applications nouvelles, plus étendues ou plus spécialisées. Il peut faire partie du Département des services de gestion, du Département de la sécurité, ou encore du Département technique chargé du programme d'équipement.

A côté de ce service, on trouve des chefs d'étude qualifiés en mesure d'apporter leur concours à temps partiel. Dans les services d'étude et d'exploitation des installations, toutes les personnes pour qui cela se justifie devraient, avec le temps, recevoir une formation et acquérir une certaine expérience dans ce domaine. La méthode, qui aura peut-être été introduite d'abord à titre expérimental ou facultatif, devrait être peu à peu appliquée à un nombre grandissant de projets, jusqu'à ce que l'étude des dangers devienne un élément intrinsèque de l'étude générale des projets.

L'institutionnalisation des études marquera alors un engagement des organes dirigeants, au niveau du conseil d'administration par exemple. Elle devrait garantir l'affectation des ressources nécessaires aux études et à la mise en œuvre des mesures qui en découlent. Elle se fait généralement par l'établissement de directives portant sur les points suivants:

- stade de l'étude et de la mise au point des projets où l'étude des dangers doit se situer;
- critères à appliquer pour l'exécution d'études des installations existantes;
- personnes à qui il incombe de mettre en train les études;
- méthodes d'enregistrement et de communication des informations fournies par les études.

---

**Annexe 4**

**Méthodes de calcul  
des conséquences  
des accidents**



## 1. Introduction

Cette annexe présente des exemples de calcul des conséquences des accidents majeurs. D'importantes études ont été faites sur le plan international – analyse théorique et essais à grande échelle – pour améliorer ces méthodes. Ce travail se poursuit, notamment dans le cadre du programme de la Commission des Communautés européennes.

Les exemples exposés ci-après reflètent l'état des connaissances en 1987, connaissances qui, dans certains domaines, par exemple l'évaluation des effets des explosions de nuages de vapeurs, faisaient cependant l'objet d'un réexamen.

### GAZ DE PÉTROLE LIQUÉFIÉS (GPL)

#### 1.1. Boule de feu (BLEVE)

a) Rayon de la boule de feu:  $R = 29M^{1/3}$

où:  $R$  = rayon de la boule de feu (m);  
 $M$  = masse du combustible (t).

b) Durée de la boule de feu:  $d = 4,5M^{1/3}$

où:  $d$  = durée (s);  
 $M$  = masse du combustible (t).

Pour  $M$ , on prend généralement la moitié de la capacité du réservoir, soit, pour un réservoir de 50t,  $M = 25$  t. Toutefois, pour une installation de stockage en réservoirs verticaux de trois réservoirs ou plus, proches l'un de l'autre, il est recommandé de prendre, pour  $M$ , 90 pour cent de la capacité des réservoirs.

c) Flux thermique reçu par une cible située à une certaine distance du réservoir de GPL:

$$q_t = EFT$$

où:  $q_t$  = flux thermique reçu par la cible ( $\text{kW/m}^2$ );

$E$  = pouvoir émissif de la surface ( $\text{kW/m}^2$ );

$F$  = facteur visuel;

$T$  = facteur de transmission atmosphérique.

On attribue à  $E$  la valeur de  $270 \text{ kW/m}^2$  pour les réservoirs cylindriques horizontaux ou verticaux, et la valeur de  $200 \text{ kW/m}^2$  pour les réservoirs sphériques.

$$F \text{ correspond à } \frac{R^2 r}{(R^2 + r^2)^{3/2}}$$

où:  $r$  = distance au sol entre le réservoir et la cible (pour l'application de cette formule,  $r$  devrait être plus grand que  $2R$ ).

$T$  est donné par la relation  $T = 1 - 0,058 \ln r$ .

Après avoir déterminé  $q_t$ , on peut calculer la dose thermique en multipliant  $q_t$  par  $d$ ,  $d$  étant la durée de la boule de feu.

*Exemple:* Détermination du flux thermique reçu d'une boule de feu (BLEVE) à une distance de 300 m d'un réservoir de 100 t de GPL:

$$R = 29M^{1/3} = 29 \cdot 50^{1/3} = 107 \text{ m};$$

$$d = 4,5M^{1/3} = 4,5 \cdot 50^{1/3} = 16,6 \text{ s};$$

$$E = 270 \text{ kW/m}^2;$$

$$T = 1 - 0,058 \ln r = 1 - 0,058 \ln 300 = 0,67;$$

$$F = \frac{R^2 r}{(R^2 + r^2)^{3/2}} = \frac{107^2 \cdot 300}{(107^2 + 300^2)^{3/2}} = 0,106;$$

$$q_t = EFT = 270 \cdot 0,106 \cdot 0,67 = 19,2 \text{ kW/m}^2.$$

$$\text{Dose thermique} = q_t \cdot d = 19,2 \cdot 16,6 = 317 \text{ kJ/m}^2.$$

#### 1.2. Explosion d'un nuage de vapeurs

Hypothèses:

a) réservoir de GPL plein où un accident provoque un dégagement quasi instantané;

b) le nuage de vapeur/aérosol correspond à deux fois la fraction d'inflammation adiabatique à  $15^\circ\text{C}$ , à savoir 62 pour cent et 34 pour cent du contenu du réservoir pour le propane et le butane, respectivement;

c) 1 t GPL = 0,42 t TNT.

Le problème est de déterminer la surpression provoquée par l'explosion à une distance  $d$ . Elle est donnée par la courbe de la figure 4.1, en fonction de la distance corrigée (la courbe, en effet, est établie à l'origine pour le TNT).

*Exemple:* Détermination de la surpression à une distance de 300 m d'un réservoir de 100 t de propane:

$$\text{Masse du combustible dans le nuage} = \frac{100 \text{ t} \cdot 62}{100} = 62 \text{ t (hypothèse b)};$$

$$1 \text{ t GPL} = 0,42 \text{ t TNT (hypothèse c)};$$

$$\text{Distance corrigée} = \frac{d}{(0,42 M)^{1/3}} = \frac{300}{(0,42 \cdot 62)^{1/3}} = 101 \text{ m}$$

Pour une distance corrigée de 101 m, le graphique de la figure 4.1 donne une surpression de 2,23 psig<sup>1</sup>.

### **1.3. GPL commerciaux: débit maximal d'écoulement sous forme liquide**

Peut être déterminé à l'aide du graphique de la figure 4.2.

### **1.4. GPL commerciaux: débit maximal de dégagement sous forme gazeuse**

Peut être déterminé à l'aide du graphique de la figure 4.3.

### **1.5. GPL commerciaux: débit maximal de dégagement sous forme liquide et gazeuse**

Peut être déterminé à l'aide du graphique de la figure 4.4.

## CHLORE

Les conséquences du dégagement de gaz toxiques tels que le chlore sont fonction du temps, de la distance et des conditions météorologiques. Les concentrations peuvent être estimées à l'aide de modèles informatiques établis à partir d'une description physique du comportement des nuages de gaz et de données expérimentales.

Des modèles "fermés" sont fréquemment utilisés pour prédire le mode de dispersion de gaz tels que le chlore, d'une densité supérieure à celle de l'air. Le modèle DENZ peut être retenu pour les dégagements instantanés (par exemple en cas de rupture d'un réservoir de stockage) pour connaître les concentrations en fonction de la quantité dégagée et de la distance (figure 4.5). Pour les dégagements continus (par exemple en cas de fuite sur une tuyauterie), le modèle CRUNCH fournit des renseignements analogues (figure 4.6).

Ces données peuvent être utilisées en combinaison avec celles du tableau 10 de la section 6.1.4 du guide pour évaluer les effets du dégagement sur la population.

<sup>1</sup> Pression manométrique en livres par pouce carré.



Figure 4.1. Explosion d'un nuage de vapeurs de GPL: Surpression produite en fonction de la distance corrigée

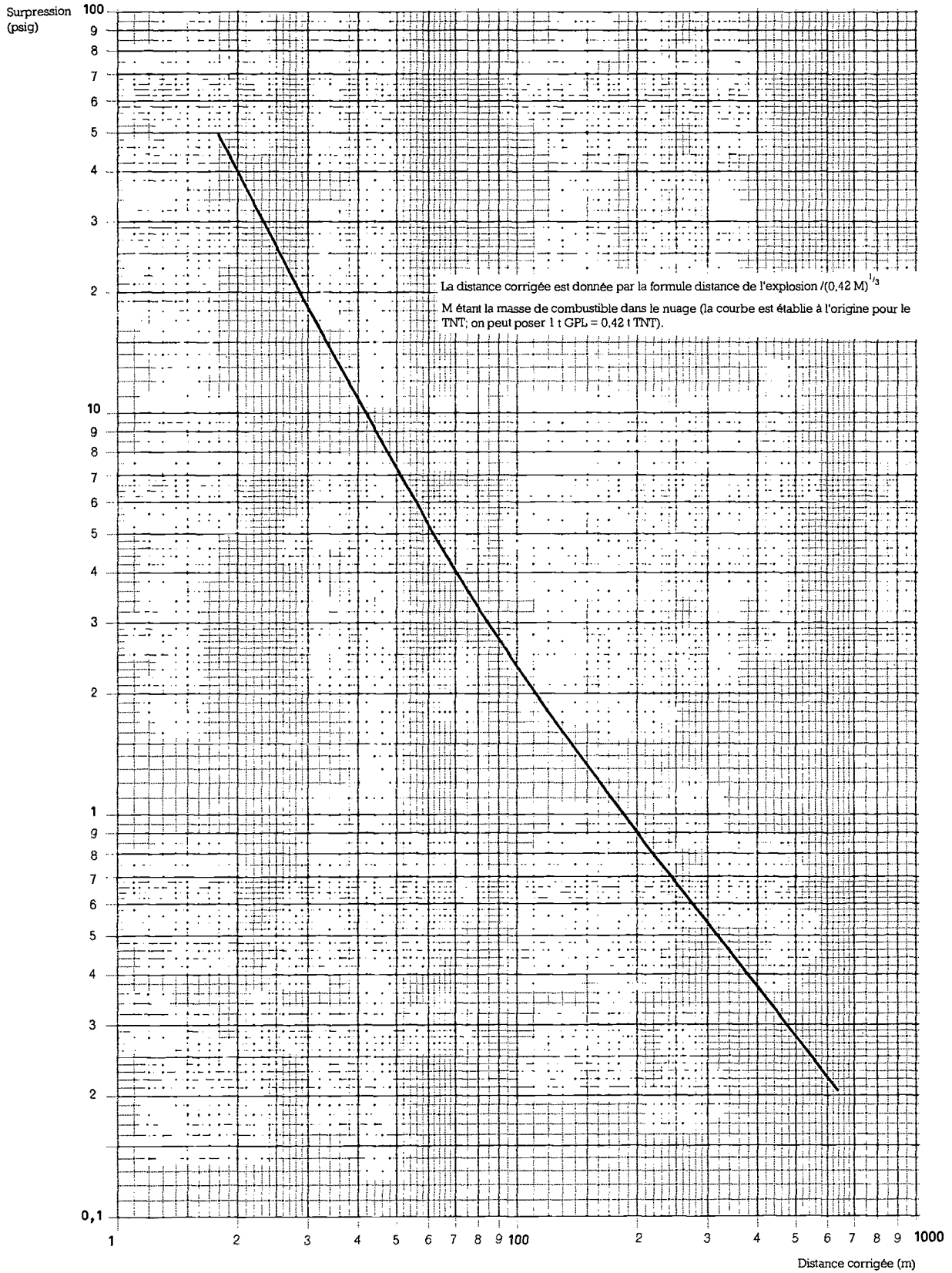


Figure 4.2. GPL commerciaux: Débit maximal d'écoulement sous forme liquide

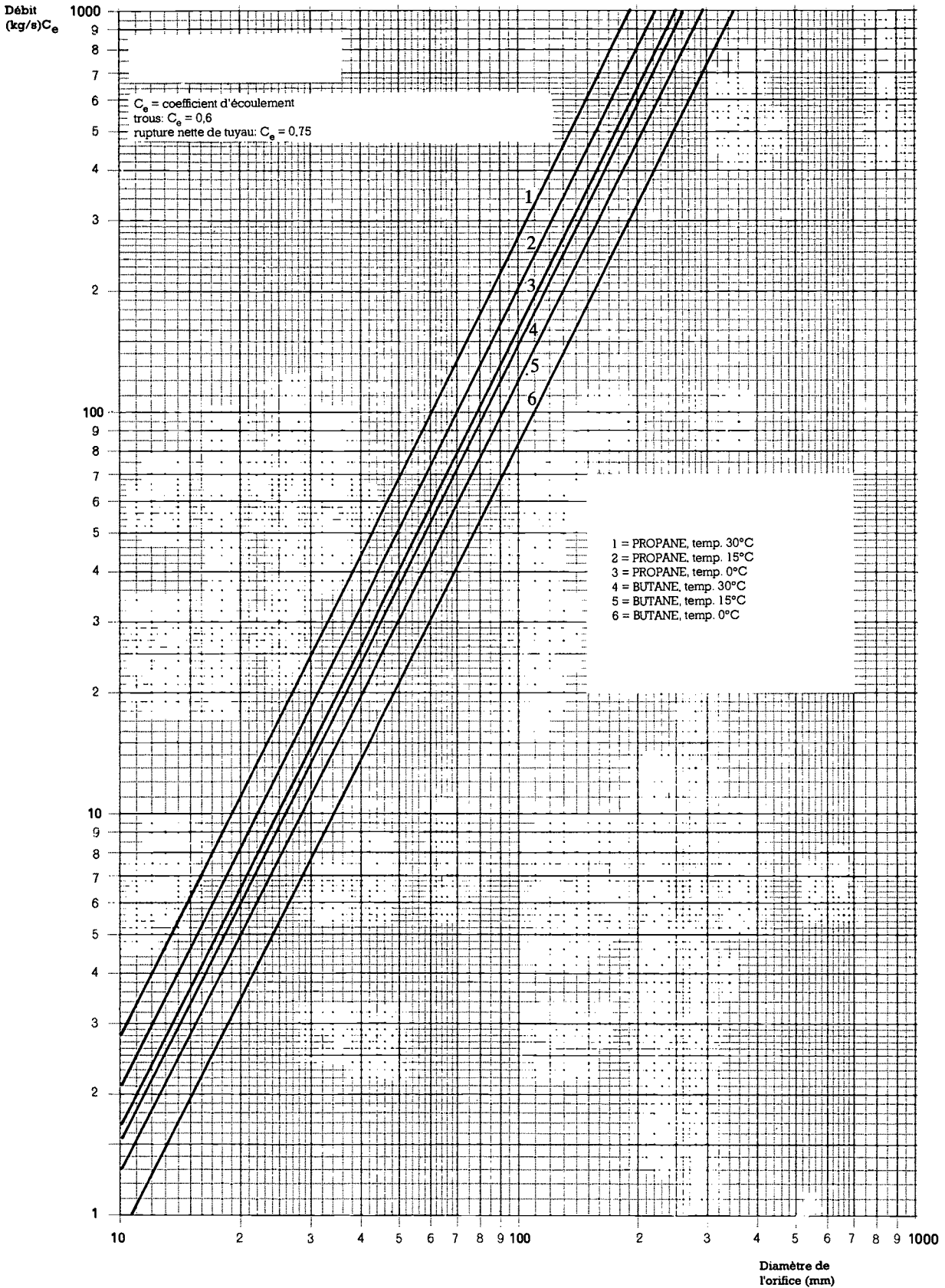


Figure 4.3. GPL commerciaux: Débit maximal de dégagement sous forme gazeuse

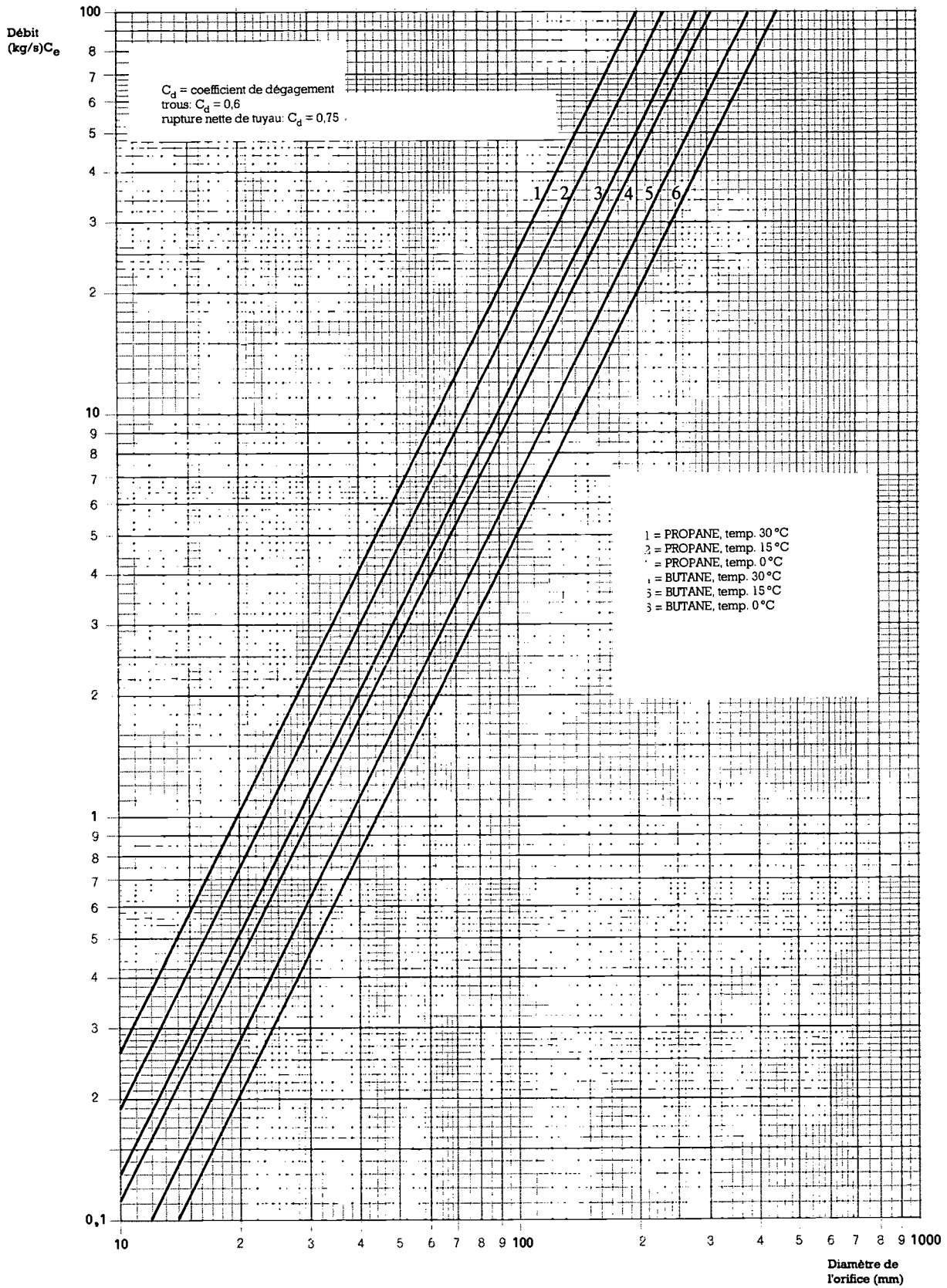


Figure 4.4. GPL commerciaux: Débit maximal de dégagement sous forme liquide et gazeuse

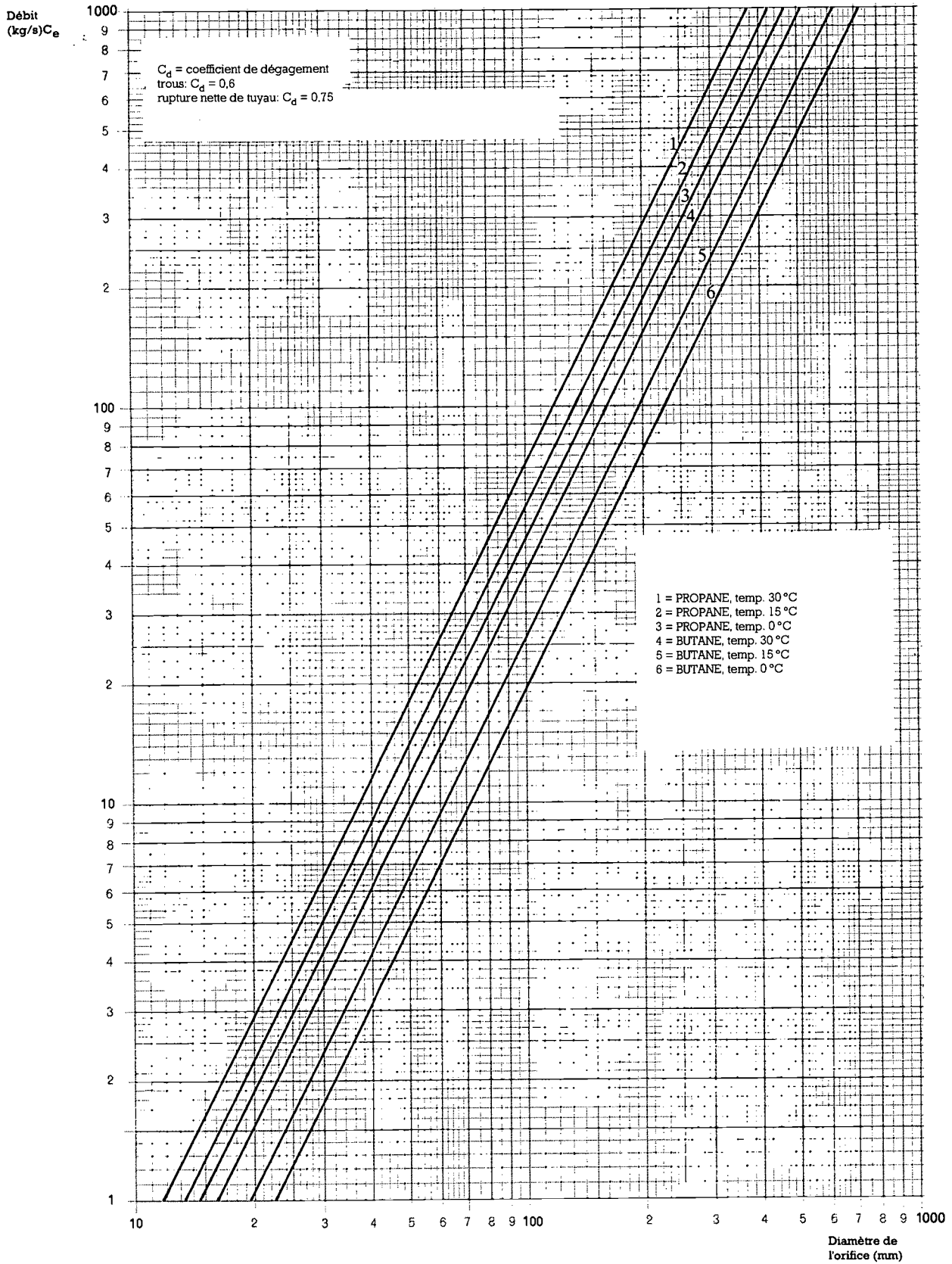


Figure 4.5. Dégagement instantané de chlore: Relation entre la quantité dégagée, la concentration maximale au niveau du sol et la distance de la source (dans le lit du vent, conditions météorologiques stables, vent 5 m/s)

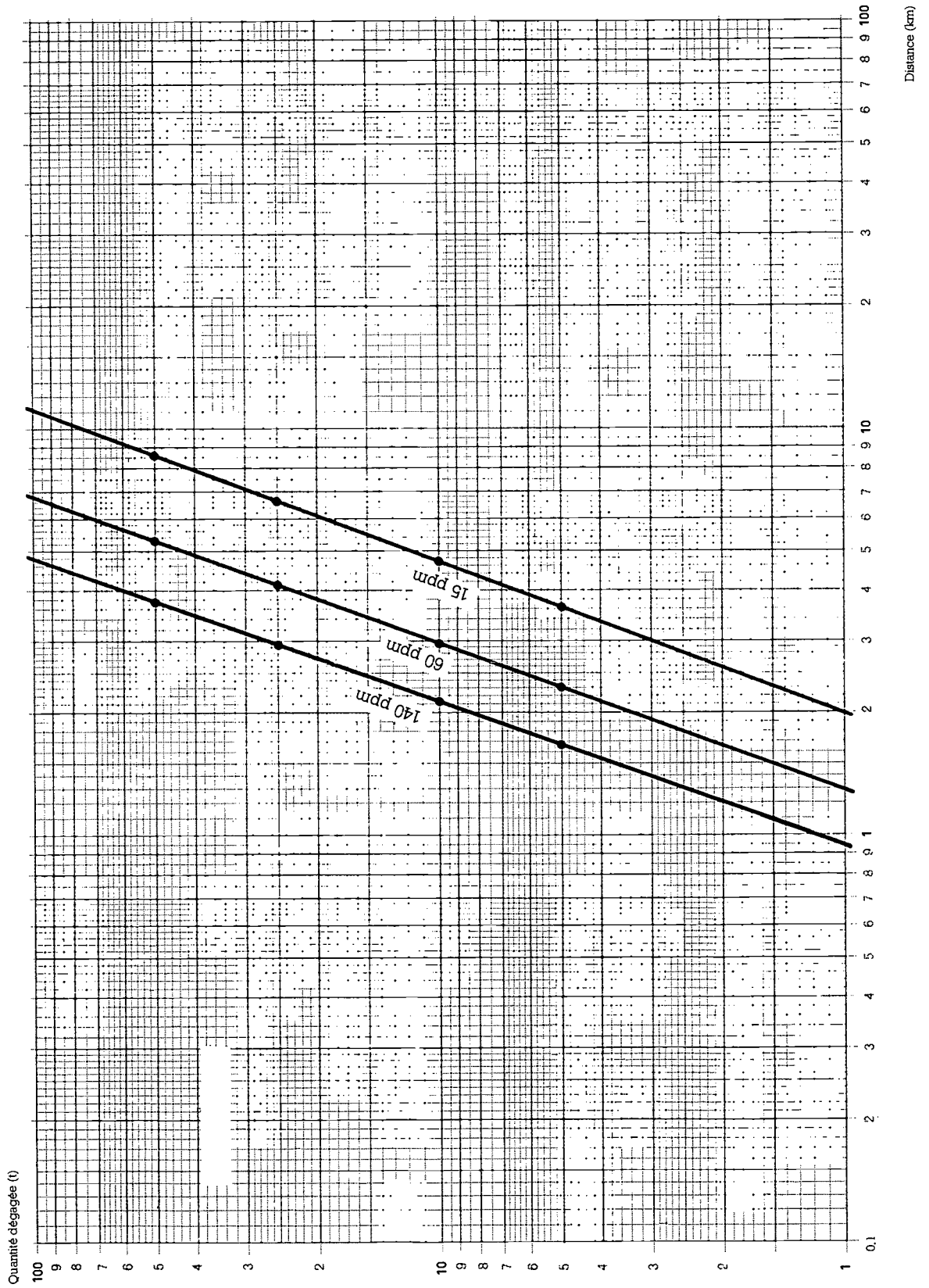
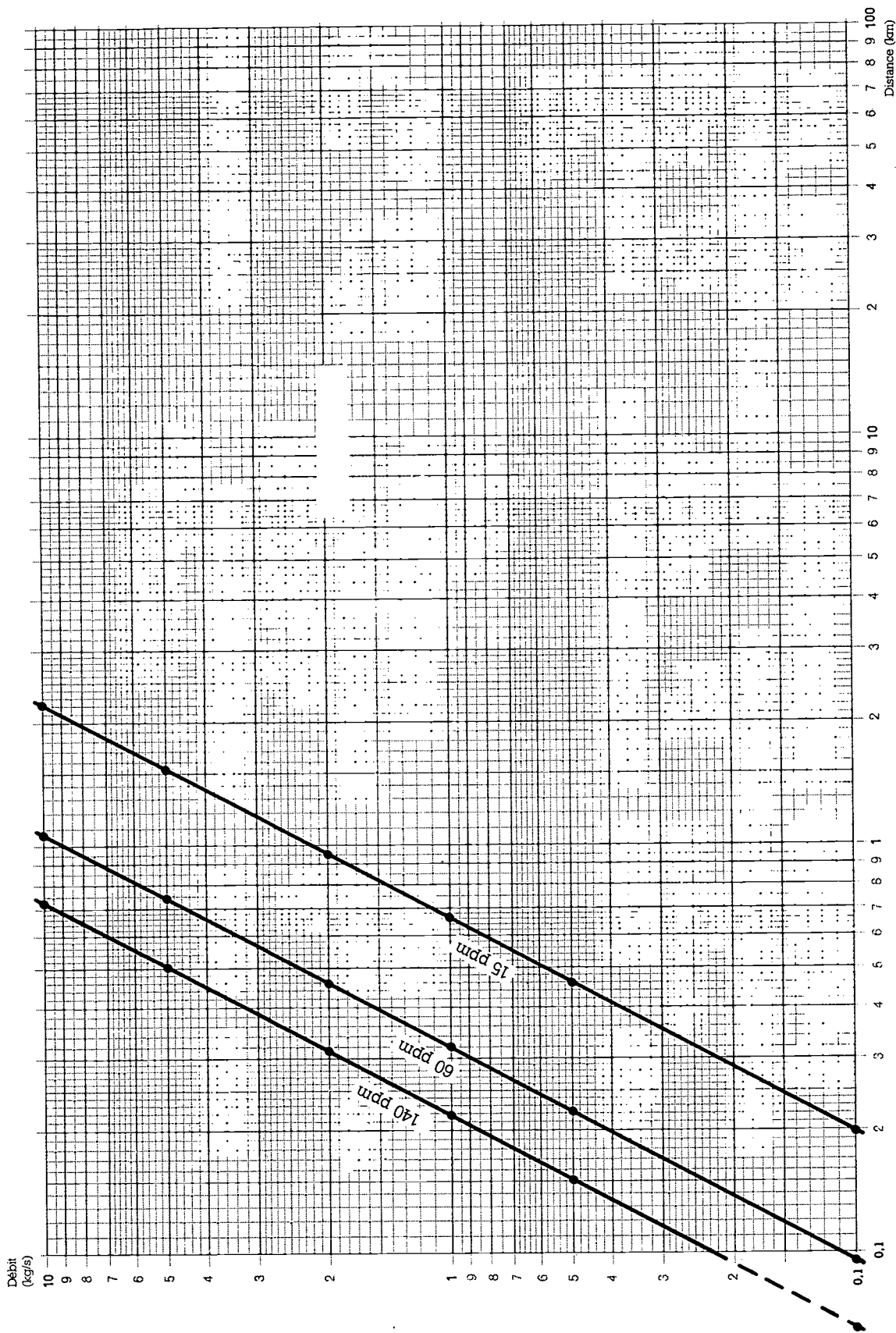


Figure 4.6. Dégagement continu de chlore: Relation entre le débit de dégagement, la concentration d'équilibre au niveau du sol et la distance de la source (dans le lit du vent, conditions météorologiques stables, vent 5 m/s)



## Annexe 5a

### **Le stockage des GPL dans des dépôts fixes**

Le texte qui suit est la traduction du guide publié par la Direction de la santé et de la sécurité au travail du Royaume-Uni (Health and Safety Executive): *The storage of LPG at fixed installations*, Health and Safety Series booklet HS (G) 34 (Londres, Her Majesty's Stationery Office, 1987).





## Table des matières

### **Glossaire**

### **Introduction**

### **Champ d'application**

### **Dispositions législatives et réglementaires**

### **Propriétés des GPL et risques**

### **Implantation des dépôts, distances de sécurité, groupement**

Murs de protection

### **Sûreté mécanique**

Réservoirs enterrés, réservoirs sous butte

Réservoirs sur châssis

Homologation des réservoirs

Indication des caractéristiques

### **Équipement et accessoires**

Soupapes de sûreté

Lignes de purge

Dispositifs de jauge

Robinets

Pompes

Compresseurs

### **Tuyauteries**

Tuyauteries en tranchée

Soupapes hydrostatiques de sûreté

Tuyauteries flexibles

Supports pour les réservoirs et les tuyauteries

### **Vaporiseurs**

Généralités

Dispositifs de purge

Soupapes de sûreté

Contrôle de l'arrivée de GPL en phase liquide

Limitation de la température maximale de service

### **Clôtures de sécurité**

Protection contre les véhicules

### **Marquage**

Robinets et raccords

### **Classement des zones pour l'installation du matériel électrique**

### **Précautions contre l'incendie**

Généralités

Protection contre l'incendie

Accès

Instruction et entraînement à la lutte contre l'incendie

### **Postes de chargement et de déchargement**

Généralités

Chargement et déchargement des camions-citernes

Chargement et déchargement des wagons-citernes

### **Mise en service, mise hors service**

Mise en service

Mise hors service

### **Entretien et inspection**

### **Consignes d'exploitation**

### **Formation**

### **Bibliographie**

### **Note annexe. Protection des réservoirs contre la mise en dépression**



## Glossaire

**Autorité compétente:** autorité chargée d'assurer l'application de la législation sur la sécurité et la santé au travail et des autres dispositions législatives pertinentes.

**Capacité:** la capacité des réservoirs, donnée en litres, correspond au volume d'eau requis pour remplir complètement le réservoir. L'équivalent le plus proche en tonne métrique (t) est indiqué entre parenthèses, car il est couramment utilisé; toutefois, ce chiffre n'est qu'une approximation, en raison des différences de densité du propane et du butane.

**Cuvette de rétention:** cuvette ou fosse, aménagée en un lieu sûr, qui peut recevoir le GPL en cas d'écoulement et où celui-ci peut s'évaporer de façon contrôlée.

**Distance d'éloignement de sécurité:** distance horizontale entre l'élément considéré et la partie la plus proche d'un réservoir de stockage.

**Éléments de construction:** murs, planchers, plafonds, toits, portes, fenêtres, etc., faisant partie d'un bâtiment, d'un local ou d'une autre enceinte.

**Gaz de pétrole liquéfié (GPL):** terme générique utilisé pour décrire des gaz liquéfiables composés principalement d'hydrocarbures C<sub>3</sub> et C<sub>4</sub>.

**Matériaux incombustibles:** matériaux pouvant être classés comme tels selon les normes applicables.

**Mur de protection:** mur, écran ou séparation érigé à l'extérieur en vue de réduire les effets des rayonnements thermiques sur les réservoirs, tout en ménageant une distance suffisante pour la dispersion du GPL en cas de fuite.

**Réservoir:** récipient d'une capacité supérieure à 150 litres construit conformément à la réglementation des appareils à pression.

**Réservoir enterré:** réservoir installé au-dessous du niveau du sol dans une cuvette ou une fosse remblayée avec du sable ou un autre matériau approprié.

**Réservoir sous butte:** réservoir situé au niveau du sol ou partiellement enterré et complètement recouvert d'une butte de terre ou d'un matériau inerte similaire.

**Réservoir sur châssis:** réservoir monté sur un châssis en profilé qui permet de le déplacer ou de le transporter aisément.

**Résistant au feu:** satisfaisant aux normes de résistance au feu applicables. Les espaces laissés entre des éléments de construction adjacents qui séparent des locaux ou des emplacements situés de part et d'autre devraient être scellés ou ignifugés de façon à prévenir ou à retarder le passage de flammes ou de gaz chauds et à assurer une protection anti-incendie efficace.

Les éléments de construction devraient être d'une solidité suffisante pour que leur résistance au feu ne soit pas réduite par l'usure ou les dommages causés par les opérations ou les activités courantes; s'ils sont exposés à des risques d'endommagement mécanique, ils devraient être munis de dispositifs de protection appropriés, par exemple des rails de sécurité, des plaques de renforcement, des bandes d'usure, etc.

**Robinet de sécurité à commande à distance:** robinet d'isolement à commande à distance qui se ferme automatiquement en cas de défaillance de la source d'énergie actionnant le servomoteur ou en présence de flammes. Ces robinets devraient être résistants au feu conformément aux normes applicables. Pour les robinets à commande électrique, la condition de fermeture automatique en présence de flammes n'est pas requise si l'alimentation en courant électrique est convenablement protégée contre le feu.

**Surface d'évaporation:** surface au sol située en un lieu sûr à proximité immédiate du ou des réservoirs qui peut recevoir le GPL en cas d'écoulement et où celui-ci peut s'évaporer et se disperser sans risque.

## Introduction

1. Ce guide contient des directives générales de sécurité pour le stockage et la manutention des gaz de pétrole liquéfiés (GPL) dans des dépôts fixes. Il s'adresse à la fois aux personnes qui stockent des GPL – pour l'application des dispositions légales ou réglementaires auxquelles elles sont soumises le cas échéant ou pour leur orientation, par exemple pour les installations de stockage domestiques – et à celles qui sont chargées de veiller à l'application

des règles de sécurité. Les recommandations qu'il donne visent à réduire au minimum les risques d'incendie et d'explosion dus à des fuites de GPL ou à des incendies dans les dépôts ou à proximité.

2. Ce guide propose un ensemble de dispositions qui devraient permettre d'atteindre un niveau de sécurité acceptable. Chaque cas, au demeurant, doit être considéré pour lui-même, des conditions particulières pouvant exiger des dispositions différentes. Il n'est pas question d'imposer tel type d'installation, tels matériaux ou telles méthodes s'il est possible d'atteindre autrement un niveau de sécurité équivalent. Il n'est pas question non plus d'exiger l'application rigide des dispositions préconisées dans les installations existantes, où, pour toutes sortes de raisons, il n'est peut-être pas possible en pratique d'y donner effet; il convient cependant de procéder aux aménagements qui apparaîtraient indispensables, voire indiqués pour la sécurité. Les installations nouvelles, elles, devraient être conformes aux prescriptions de ce guide.

### Champ d'application

3. Ce guide porte uniquement sur les installations où des GPL sont stockés sous pression à la température ambiante dans des réservoirs fixes d'une capacité supérieure à 150 litres. Il est applicable à toutes ces installations, que le gaz soit destiné à être utilisé sur place ou à être transvasé et utilisé ultérieurement à un autre endroit. Le guide contient des directives sur la conception, la construction et l'inspection des réservoirs de stockage ainsi que des informations sur les précautions à prendre lors du chargement et du déchargement des camions ou des wagons-citernes.

4. Le guide ne porte pas sur le stockage des GPL en bouteilles ou en cartouches, ni sur le stockage des GPL à basse température. Des recommandations à ce sujet figurent dans d'autres documents.

### Dispositions législatives et réglementaires

5. Le stockage des GPL est soumis en principe à une autorisation préalable délivrée par les services administratifs compétents. Il est soumis en outre aux

dispositions législatives et réglementaires applicables dans chaque pays.

[Les références faites ici et ailleurs dans le guide aux dispositions législatives et réglementaires ou aux normes en vigueur au Royaume-Uni n'ont pas été traduites.]

### Propriétés des GPL et risques

6. Les deux gaz de pétrole liquéfiés d'usage courant sont le butane et le propane commercial. Leurs principales propriétés physiques sont indiquées au tableau 1. Ces hydrocarbures, qui se présentent à l'état gazeux à la température et à la pression ordinaires, peuvent être liquéfiés sous une pression modérée. Dès qu'ils ne sont plus soumis à cette pression, ils retournent à l'état gazeux.

**Tableau 1. Principales propriétés physiques des GPL**

Propriété	Butane commercial	Propane commercial
Densité relative (par rapport à l'eau) à l'état liquide (à 15,6°C)	0,57–0,58	0,50–0,51
Litres par tonne de liquide (à 15,6°C)	1 723–1 760	1 957–2 019
Densité relative (par rapport à l'air) à l'état gazeux (à 15,6°C et 1 015,9 mbar)	1,90–2,10	1,40–1,55
Rapport de volume gaz/liquide (à 15,6°C et 1 015,9 mbar)	233	274
Volume de mélange gaz/air à limite inférieure d'inflammabilité produit par 1 volume de liquide (à 15,6°C et 1 015,9 mbar)	12 900	12 450
Point d'ébullition (°C)	–2	–45
Tension de vapeur à 20°C (bar)	2,5	9
Tension de vapeur à 50°C (bar)	7	19,6
Limite inférieure d'inflammabilité (v/v, %)	1,8	2,2
Limite supérieure d'inflammabilité (v/v, %)	9,0	10,0

Source: Liquefied Petroleum Gas Industry Technical Association: *An introduction to liquefied petroleum gases* (Londres).

7. Les GPL sont incolores. A l'état liquide, ils ont une densité qui est à peu près la moitié de celle de l'eau. Versés sur de l'eau, ils flottent à la surface avant de s'évaporer. Leur volume est environ 250 fois plus faible à l'état liquide qu'à l'état gazeux.

8. Le gaz a une densité égale à au moins une fois et demie celle de l'air. Il ne se disperse pas facilement; il a tendance à descendre toujours et peut s'accumuler dans des endroits tels que les caves, les fosses, les égouts, etc.

9. Les GPL forment un mélange inflammable avec l'air à partir d'une concentration de 2 pour cent et jusqu'à une concentration de 10 pour cent environ. Ils peuvent donc constituer un risque d'incendie ou d'explosion s'ils ne sont pas stockés et utilisés correctement. Les fuites de GPL et l'inflammation du mélange gaz/air peuvent provoquer de graves incendies – cela s'est souvent produit; dans des locaux fermés, elles peuvent provoquer une explosion. Touchés par un incendie, les réservoirs de GPL risquent, sous l'effet de la chaleur, d'éclater, avec formation d'une boule de feu d'une température très élevée et projection de débris de métal à des distances considérables.

10. Le mélange gaz/air qui peut se former à la suite de fuites ou d'autres incidents peut s'enflammer à une certaine distance du point de dégagement, avec un retour de la flamme vers la source.

11. Mélangés avec de l'air à une concentration très élevée, les GPL exercent un effet anesthésiant et asphyxiant en raison de la diminution de la teneur de l'atmosphère en oxygène.

12. Les GPL peuvent provoquer des gelures graves de la peau du fait de leur évaporation rapide, avec production de froid. Le phénomène peut entraîner également un très fort refroidissement du matériel, qui peut lui-même causer des gelures en cas de contact. Si cela peut se produire, il est recommandé de porter des moyens de protection tels que des gants et des lunettes.

13. Les GPL sont habituellement odorisés avant distribution de façon à pouvoir être facilement reconnus à leur odeur. On peut ainsi les détecter déjà à une concentration correspondant à un cinquième de la limite inférieure d'inflammabilité (environ 0,4 pour cent de gaz dans l'air). Les fuites importantes peuvent être décelées au sifflement du jet de gaz ou au givrage de la zone voisine de la fuite. Quant aux petites fuites, on peut les localiser en humidifiant la zone suspecte avec de l'eau savonneuse, qui formera des bulles à l'endroit de la fuite. Il ne faut en aucun cas utiliser une flamme nue ou une autre source d'inflammation pour détecter une fuite.

14. Un réservoir qui a contenu du GPL peut, même s'il est en principe vide, contenir un résidu à l'état gazeux et présenter un risque. La pression

intérieure est alors à peu près la même que la pression atmosphérique. Si un robinet ferme mal ou est laissé ouvert, de l'air peut pénétrer dans le réservoir, y former un mélange inflammable et créer un danger d'explosion; du gaz peut aussi être refoulé dans l'air ambiant.

### **Implantation des dépôts, distances de sécurité, groupement**

15. Les réservoirs de GPL situés au-dessus du niveau du sol devraient être installés à l'air libre en un endroit bien ventilé, avec les distances de sécurité indiquées au tableau 2, colonne a. Les réservoirs enterrés et les réservoirs sous butte devraient être installés de façon que le trou de visite et les soupapes de sûreté se trouvent à un emplacement bien ventilé, avec les distances de sécurité indiquées au tableau 2, colonne d. Si les distances de sécurité devaient être inférieures à celles qui sont données au tableau 2, il conviendrait de consulter l'autorité compétente. L'implantation de dépôts comprenant des réservoirs d'une capacité supérieure à 337 500 litres (150 t) doit aussi être étudiée avec celle-ci.

16. Il ne faut jamais installer un réservoir de GPL au-dessus d'un autre. Au-dessous ou dans la zone des raccords de tuyauterie des réservoirs ou des installations accessoires, le sol doit être bétonné ou compacté et exempt de cuvette, de dépression, d'écoulement, etc. Lorsque tous les raccords de tuyauterie sont groupés d'un côté du réservoir, il peut être suffisant de bétonner ou de compacter le sol au-dessous. Dans le périmètre déterminé par les distances de sécurité indiquées au tableau 2, colonne a, le sol devrait être autant que possible plat et horizontal. L'aire située sous les réservoirs et les plans d'écoulement vers les surfaces d'évaporation ou les cuvettes de rétention devraient présenter cependant une légère pente.

17. Dans le périmètre déterminé par les distances de sécurité indiquées au tableau 2, colonne a, pour les réservoirs d'une capacité de 2 500 litres (1,1 t) ou moins, et dans un périmètre de 6 m de largeur pour les réservoirs d'une capacité supérieure, le sol doit être débarrassé de toute matière combustible, des herbes, des arbres ou arbustes à feuillage caduc. Il ne faut pas employer du chlorate de sodium comme herbicide à proximité des réservoirs de GPL.

18. Les arbres ou arbustes plantés pour cacher les réservoirs ne devraient pas empêcher la circulation de l'air; pour cela, il convient de n'en planter que d'un côté des dépôts. On plantera à cet effet des arbres ou arbustes à feuillage persistant, à une distance minimale de 1 m pour les réservoirs d'une capacité de 5 000 litres ou moins, et aux distances indiquées au paragraphe 17 pour les réservoirs d'une capacité supérieure.

19. Pour tous les réservoirs comportant des piquages ou des raccords au-dessous du niveau du liquide, le sol au-dessous du réservoir ou des raccords devrait présenter une légère pente pour empêcher l'accumulation de liquide en cas de fuite et pour assurer un écoulement vers une zone sûre, éloignée du réservoir, des réservoirs avoisinants ou des installations accessoires. Il n'est pas nécessaire de compacter ou de bétonner le sol sous les raccords obturés par des bouchons ou des brides pleines.

**Tableau 2. Implantation des réservoirs de GPL: distances de sécurité**

Capacité maximale		Distances minimales (m)						
D'un réservoir quelconque		De l'ensemble des réservoirs du dépôt	Réservoirs au-dessus du niveau du sol			Réservoirs enterrés/ sous butte		
Litres (eau)	Tonnes GPL (c. nominale)		Litres (eau)	Entre les réservoirs et les bâtiments, le périmètre, les limites du dépôt, les sources fixes d'inflammation a	Avec mur de protection b	Entre réservoirs c	Entre les bâtiments, etc., et	
		Robinetterie d					Réservoirs e	
150 à 500	0,05 à 0,25	1 500	2,5	0,3 <sup>1</sup>	1	2,5	0,3	0,3
>500 à 2 500	0,25 à 1,1	7 500	3	1,5	1	3	1	1,5
>2 500 à 9 000	1,1 à 4	27 000	7,5	4	1	7,5	3	1,5
>9 000 à 135 000	4 à 60	450 000	15	7,5	1,5	7,5	3	1,5
>135 000 à 337 500	60 à 150	1 012 500	22,5	11	1/4 de la somme des diamètres de 2 réservoirs adjacents	11	3	- <sup>2</sup>
>337 500	>150	2 250 000	30	15	"	15	3	- <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pour les réservoirs d'une capacité de 500 litres ou moins, la hauteur du mur de protection peut être limitée à celle du réservoir; le mur peut faire partie du mur de clôture du terrain ou de la propriété. Pour les réservoirs d'une capacité de 2 500 litres ou moins, le mur de protection peut s'intégrer dans le mur d'un bâtiment, comme le montre la figure 2; si le bâtiment comporte des locaux d'habitation, le mur faisant face au réservoir (y compris les éléments en saillie, mais à l'exclusion de l'avancée du toit) doit être dépourvu d'ouvertures et être d'une construction résistant au feu pendant 60 min.

<sup>2</sup> La distance entre deux réservoirs adjacents devrait être déterminée en fonction des caractéristiques de l'emplacement et des exigences de la sécurité pour l'installation, l'inspection, l'entretien et l'enlèvement des réservoirs.

Figure 1. Deux réservoirs de 60 t avec vaporiseurs

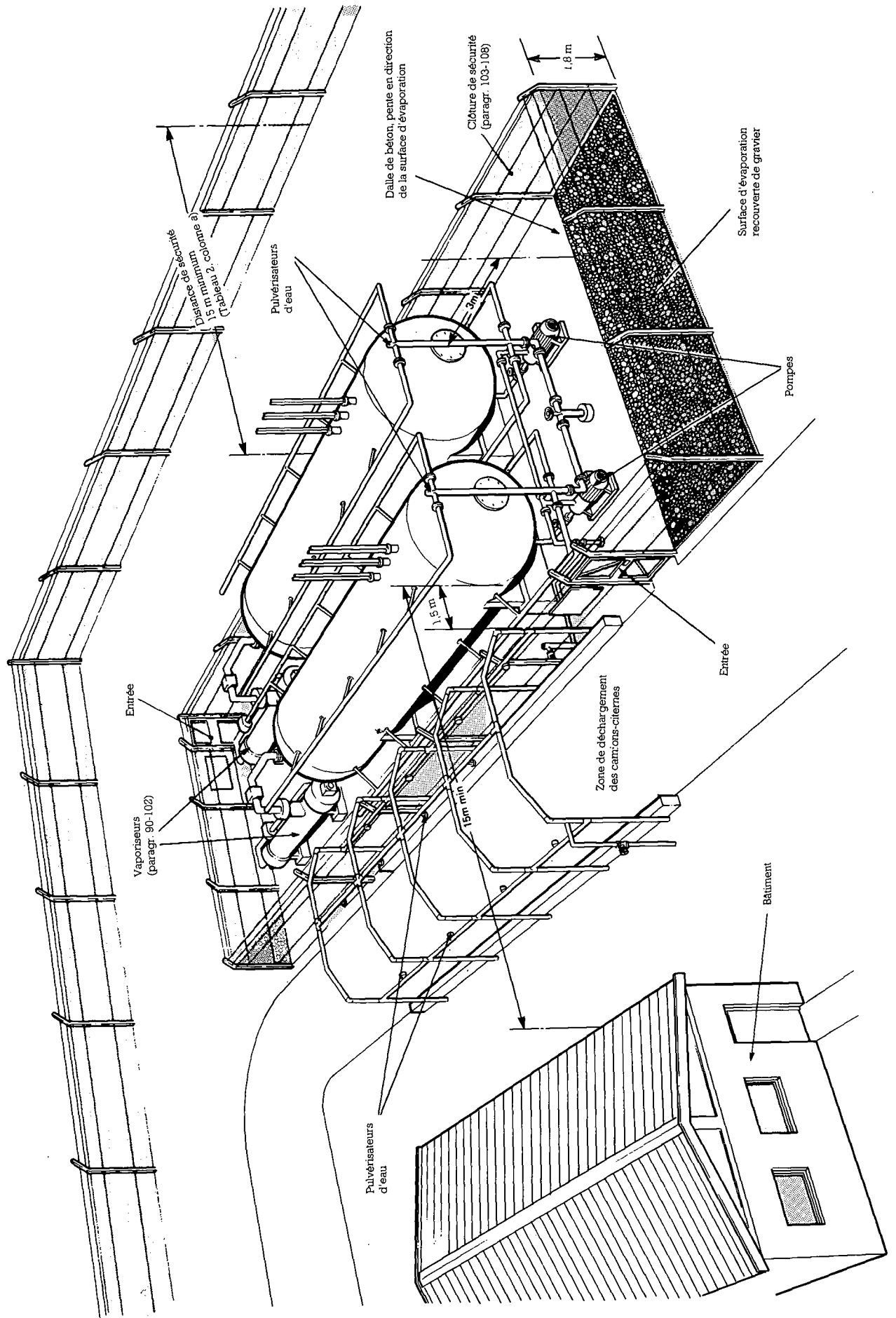


Figure 2. Petit réservoir à côté d'un bâtiment

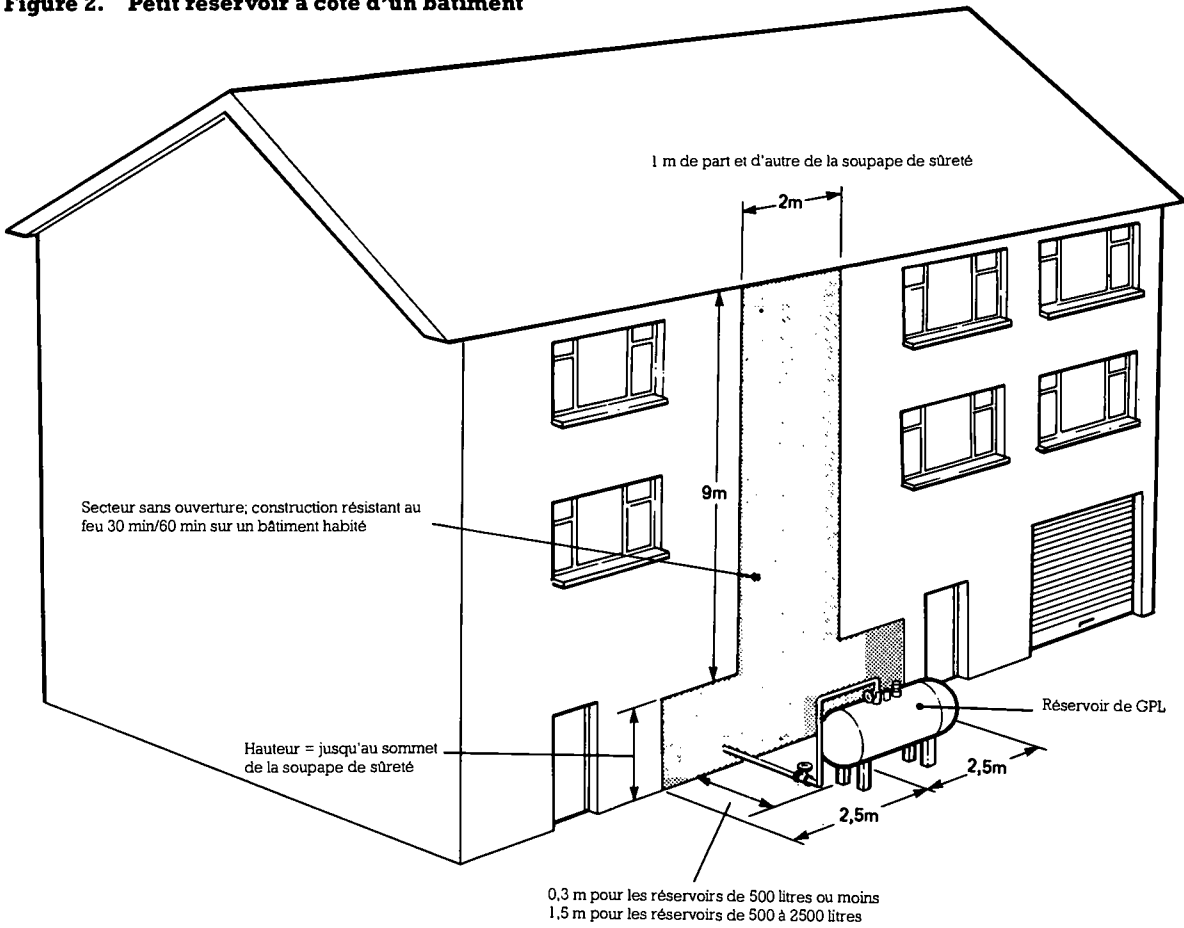
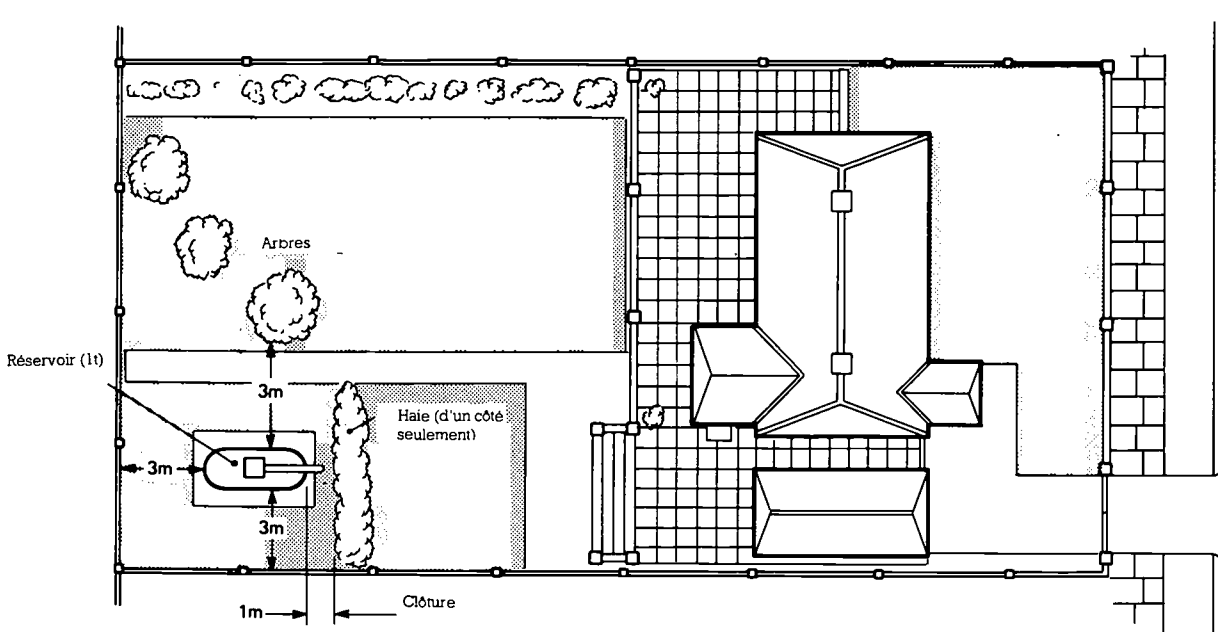


Figure 3. Petit réservoir d'une installation domestique





20. L'aire d'implantation des réservoirs de propane d'une capacité de 56 250 litres (25 t) ou plus et des réservoirs de butane d'une capacité de 11 250 litres (5 t) ou plus pourvus de piquages ou de raccords au-dessous du niveau du liquide devrait être aménagée de façon à assurer l'écoulement de toute quantité importante de GPL vers une surface d'évaporation ou une cuvette de rétention située en un endroit sûr distant des bâtiments occupés, des limites du dépôt et des sources d'inflammation. Pour cela, il convient de donner au sol une pente appropriée dans la direction de la surface d'évaporation ou de la cuvette de rétention et d'aménager le cas échéant des murets, d'une hauteur généralement limitée à 0,5 m, pour diriger l'écoulement. Il n'y a en principe lieu d'aménager des cuvettes de rétention que dans les grands dépôts.

21. Les cuvettes devraient avoir une capacité suffisante pour recevoir la plus grande quantité de GPL susceptible de s'écouler selon des hypothèses réalistes. Elles devraient être suffisamment ventilées pour permettre sans risque la dispersion des fuites de faible importance. Les cuvettes devraient être équipées de détecteurs de gaz qui signalent la présence de vapeurs de GPL.

22. Les cuvettes de rétention devraient être assez éloignées des réservoirs de GPL, des bâtiments, des limites des dépôts, etc., pour que, dans l'hypothèse où elles seraient pleines de GPL et où celui-ci s'enflammerait, le rayonnement thermique ne dépasse pas les valeurs suivantes:

- a) 7,8 kW/m<sup>2</sup> dans les zones de travail, dans les installations d'exploitation et aux points d'implantation de réservoirs de GPL non protégés;
- b) 12,6 kW/m<sup>2</sup> aux limites du dépôt;
- c) 31,5 kW/m<sup>2</sup> aux points d'implantation de réservoirs de GPL protégés par des installations de pulvérisation d'eau ou une isolation thermique.

23. Les surfaces d'évaporation devraient être situées à 3 m au moins des réservoirs de GPL. Elles devraient être recouvertes de gravier ou d'un matériau semblable de façon à augmenter la surface effective d'évaporation et à accélérer l'évaporation et la dispersion du gaz.

24. On n'installera pas des réservoirs de GPL dans des endroits exposés au risque d'inondation.

25. Les réservoirs de GPL doivent être installés à une distance d'au moins 6 m de la paroi de la cuvette de tout réservoir contenant un liquide inflammable ayant un point d'éclair inférieur à 32°C et à une distance d'au moins 6 m aussi de tout réservoir contenant un liquide inflammable ayant un point d'éclair situé entre 32 et 65°C. La distance minimale entre les réservoirs de GPL et le sommet de la paroi de la cuvette des réservoirs contenant des liquides inflammables devrait être de 3 m (voir tableau 3).

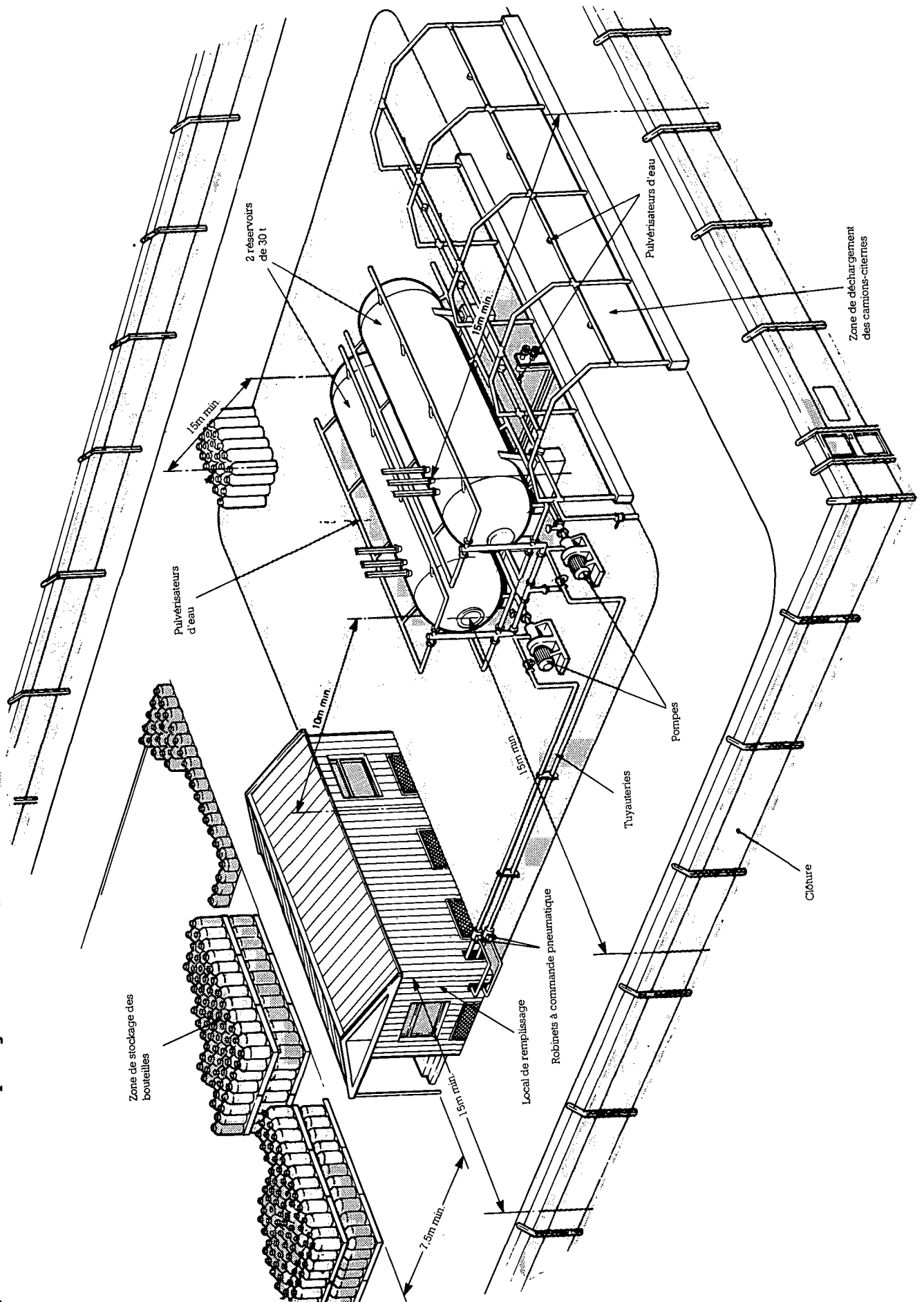
26. Les réservoirs de GPL doivent être installés à une distance suffisante des récipients d'oxygène liquide; cette distance est indiquée au tableau 4. Ils doivent être implantés à 15 m au moins des réservoirs renfermant des produits toxiques ou d'autres produits dangereux sous pression (par exemple le chlore) ou à la distance indiquée au tableau 2, colonne a, si celle-ci est plus grande.

27. On n'installera pas des réservoirs de GPL à l'intérieur de la cuvette de réservoirs renfermant des liquides inflammables, de l'oxygène liquide ou d'autres substances dangereuses, ni de réservoirs de stockage chauffés (par exemple pour le fuel lourd).

28. Dans le cas de réservoirs de GPL situés au-dessus du niveau du sol, les dépôts ne doivent pas comprendre des groupes de plus de six réservoirs, la capacité totale du groupe ne devant pas dépasser la valeur indiquée au tableau 2. Entre les réservoirs d'un groupe et ceux d'un autre, il devrait toujours y avoir une distance minimale de 7,5 m ou la distance indiquée au tableau 2, colonne c, si celle-ci est plus grande, à moins que les deux groupes de réservoirs ne soient séparés par un mur de protection.

29. Si l'on doit entreposer des bouteilles de GPL représentant au total une quantité supérieure à 50 kg à proximité de réservoirs de GPL – bouteilles à soupape déchargeant le gaz horizontalement –, il convient de ménager une distance minimale de 7,5 m entre le dépôt de bouteilles et les réservoirs pour les réservoirs d'une capacité supérieure à 5 000 litres, ou de 3 m pour des réservoirs d'une capacité inférieure. Dans le cas de bouteilles à soupape déchargeant le gaz verticalement (cas

Figure 4. Installation de remplissage de bouteilles de GPL.



habituel des bouteilles destinées à alimenter des chariots élévateurs par exemple), on pourra entreposer jusqu'à 300 kg de GPL en bouteilles à l'intérieur du périmètre de sécurité des réservoirs, à 1 m au moins de tout réservoir (voir tableau 3).

30. On pourra entreposer jusqu'à 300 kg de propane en bouteilles à l'intérieur du périmètre de 7,5 m ou de 3 m de largeur autour d'un réservoir (voir paragr. 29) si cela est nécessaire pour augmenter la pression d'un réservoir de butane par temps froid ou pour assurer une alimentation de secours en propane en cas de besoin. Les bouteilles devraient être placées à 1 m au moins du réservoir, la soupape orientée dans la direction opposée à celle du réservoir; on pourra aussi ériger un mur de protection entre les bouteilles et le réservoir.

31. Entre les constructions où s'effectue le remplissage de bouteilles de GPL (ou d'autres gaz

inflammables) et les réservoirs de GPL, il convient de ménager une distance de 10 m pour les réservoirs de 135 000 litres (60 t) ou moins et de 15 m pour les réservoirs d'une capacité supérieure. Cette disposition n'est pas applicable si le nombre de bouteilles remplies est réduit (bouteilles pour l'alimentation de chariots élévateurs par exemple) (voir tableau 3). Pour les réservoirs enterrés, la distance de sécurité peut être ramenée à 5 m ou à la distance indiquée au tableau 2, colonne *b*, si celle-ci est supérieure.

32. Les réservoirs de stockage horizontaux devraient être disposés, dans la mesure où cela peut se faire, de façon que leur axe longitudinal ne pointe pas vers des bâtiments occupés, des installations importantes ou des réservoirs renfermant des produits dangereux situés à proximité.

**Tableau 3. Implantation des réservoirs de GPL: distances de sécurité par rapport aux points de stockage/manipulation de substances dangereuses**

Substance/opération	Distance de sécurité minimale	Voir paragraphe
Réservoirs de liquides inflammables		
Point d'éclair <32°C	6 m de la paroi de la cuvette	
Point d'éclair 32–65°C	6 m du réservoir et 3 m de la paroi de la cuvette	25
Réservoirs de produits toxiques ou dangereux	15 m ou distance indiquée au tableau 2, <i>a</i> (la plus grande des deux)	26
Bouteilles de GPL, quantité totale de GPL >50 kg	3 m des réservoirs de GPL d'une capacité de 5000 litres ou moins 7,5 m des réservoirs de GPL d'une capacité de plus de 5 000 litres	29
Exception: bouteilles de GPL à soupape déchargeant le gaz verticalement, quantité totale 300 kg ou moins	1 m	29
Bouteilles de propane pour augmenter la pression ou assurer une alimentation de secours, soupape orientée dans la direction opposée à celle du réservoir, quantité totale 300 kg ou moins	1 m	30
Poste de remplissage de bouteilles	10 m des réservoirs de GPL d'une capacité de 135 000 litres ou moins 15 m des réservoirs d'une capacité supérieure	31

**Tableau 4. Implantation des réservoirs de GPL: distances de sécurité par rapport aux réservoirs d'oxygène liquide**

Capacité des réservoirs de GPL (en litres d'eau)	Tonnes GPL (c. nominale)	Capacité des réservoirs d'oxygène liquide (litres)	Distance de sécurité (mètres)
Jusqu'à 2 500	0 – 1,1	jusqu'à 125 000	6
>2 500 – 9 000	>1,1 – 4	„	7,5
>9 000 – 135 000	>4 – 60	„	15
>135 000 – 337 000	>60 – 150	„	22,5
>337 000	>150	„	30
Jusqu'à 5 000	0 – 2	plus de 125 000	30
>5 000 – 500 000	>2 – 220	„	45
>500 000	>220	„	demander l'avis d'un spécialiste

### Murs de protection

33. Le but des murs de protection est de protéger le ou les réservoirs de GPL du rayonnement thermique en cas d'incendie à proximité, comme de ménager, par rapport aux limites du dépôt, aux bâtiments et aux sources d'inflammation, une zone suffisante pour permettre la dispersion du GPL en cas de fuite du réservoir ou de la robinetterie.

34. Les murs de protection devraient être d'une construction solide, en maçonnerie, en béton ou en matériaux similaires, sans ouverture. Sauf pour les réservoirs d'une capacité de 5 500 litres (0,25 t) ou moins, ils devraient avoir une hauteur minimale égale à 2 m ou à la hauteur du sommet du réservoir si celle-ci est plus élevée. Ils devraient être construits à une distance de 1 à 3 m en tout point du réservoir. Lorsqu'un mur de protection a été établi, les distances de sécurité peuvent être ramenées aux valeurs indiquées au tableau 2, colonne b. Pour les réservoirs d'une capacité de 500 litres ou moins, voir la note 1 du tableau 2.

35. Entre le réservoir et les éléments situés de l'autre côté du mur de protection, la distance – mesurée du réservoir à l'une ou l'autre extrémité du mur et de là à l'élément considéré – devrait être égale ou supérieure à la distance de sécurité indiquée au tableau 2, colonne a.

36. Il n'y a habituellement lieu d'aménager un mur de protection que d'un côté d'un réservoir ou d'un groupe de réservoirs.

### Sûreté mécanique

37. Pour garantir au départ la sûreté mécanique des réservoirs de GPL, il importe d'appliquer de bonnes règles de conception et de construction, compte tenu des conditions d'exploitation

(conditions de vide et de basses températures en particulier) et des conditions d'environnement. Pour les réservoirs enterrés et les réservoirs sous butte, il convient de prendre en compte les contraintes supplémentaires imposées au matériel.

38. Les réservoirs de GPL devraient être conçus, construits, essayés et homologués selon une norme appropriée. Ils devraient être construits en une qualité d'acier adaptée à la température minimale de service. Les réservoirs devraient satisfaire aux exigences suivantes (ou à des exigences supérieures) sans risque pour la sécurité:

	Propane	Butane
Pression maximale de service	14,5 bar (pr)	4,83 bar (pr)
Pression minimale de service	0 bar (pr)	480 mbar (pa)
Température minimale de service	-40°C	-18°C

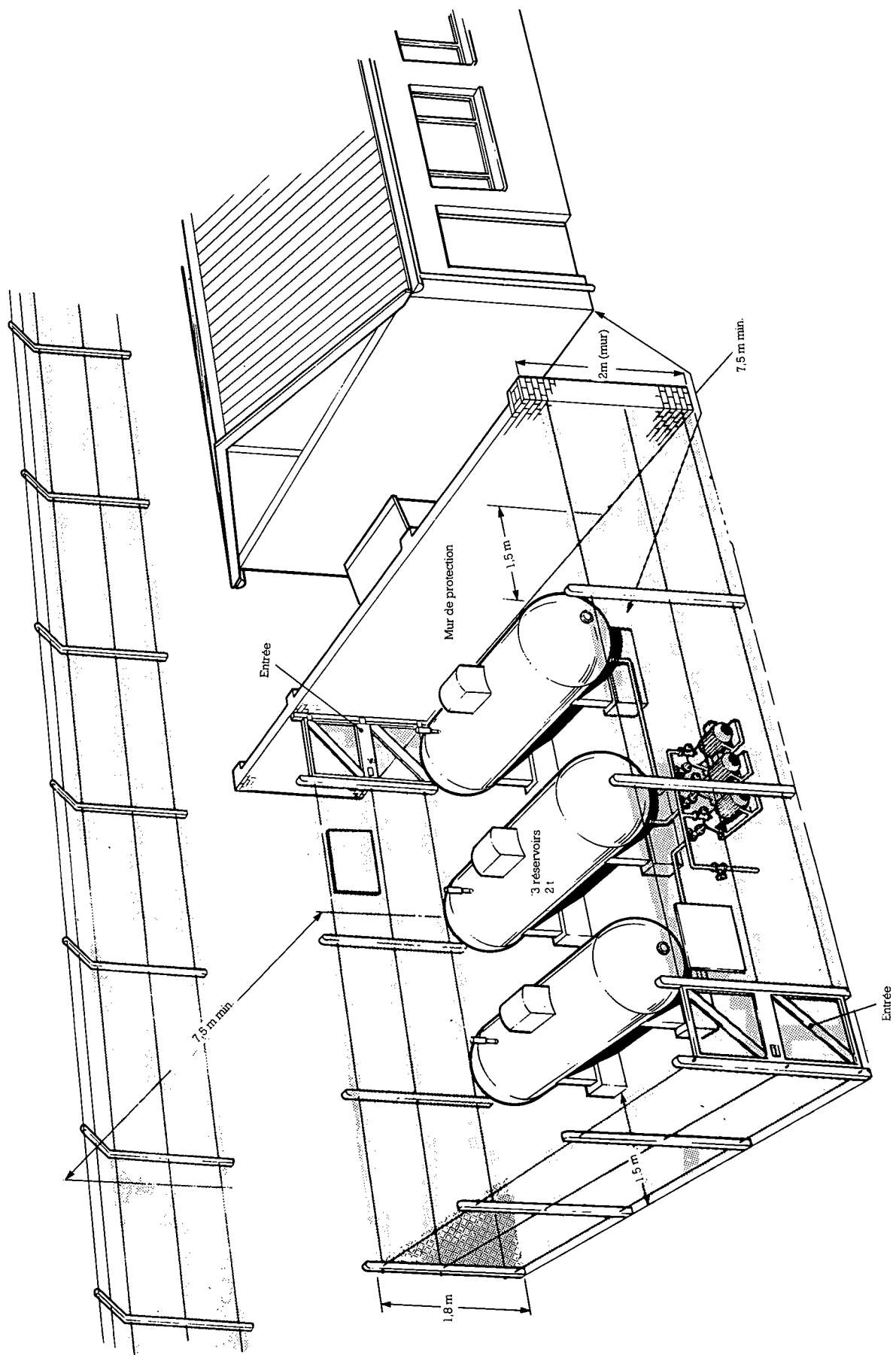
pr = pression relative; pa = pression absolue

Pour les réservoirs qui doivent recevoir aussi bien du butane que du propane, ces conditions devraient être les suivantes:

Pression maximale de service	14,5 bar (pr)
Pression minimale de service	480 mbar (pa)
Température minimale de service	-40°C

39. Les installations de stockage de butane existantes devraient être vérifiées par une personne compétente, qui déterminera si elles répondent aux conditions indiquées au paragraphe 38. Si ce n'est pas le cas, le réservoir ou l'installation devrait être modifié de façon à satisfaire à ces conditions, ou des dispositions appropriées devraient être prises pour prévenir la formation d'un vide (voir note annexe).

Figure 5. Batterie de réservoirs avec mur de protection



40. Tous les réservoirs devraient porter l'indication de la pression minimale d'exploitation admissible. Lorsque cette pression n'est pas connue et ne peut être déterminée, on retiendra la valeur de 1 bar (pression absolue) (0 bar pression relative), valeur que l'on indiquera sur le réservoir.

### **Réservoirs enterrés, réservoirs sous butte**

41. Les réservoirs enterrés devraient être installés dans un sol bien drainé, de préférence dans une fosse garnie d'un revêtement de béton ou de briques, ce qui permet d'installer le réservoir et de le remblayer convenablement et de ménager un accès facile pour les inspections. Les réservoirs peuvent être installés dans des excavations sans revêtement s'il est possible de satisfaire aux mêmes conditions.

42. Les réservoirs enterrés et les réservoirs sous butte devraient être installés sur une assise solide, de façon qu'ils ne puissent pas bouger ni «flotter». La surface des réservoirs devrait être convenablement préparée et traitée pour la protéger de la corrosion; la protection peut être réalisée de différentes manières, notamment par un revêtement de surface et par une protection cathodique.

43. L'excavation devrait être assez grande pour rendre l'installation facile, en laissant un espace libre d'au moins 1 m entre le réservoir et les parois avant remblayage. On veillera à ne pas endommager le revêtement protecteur en descendant le réservoir dans la fosse; une fois le réservoir en place, on contrôlera le revêtement à l'aide d'un appareil détecteur approprié et on réparera les éventuels dégâts.

44. Il convient d'utiliser, comme matériau de remblai, un matériau inerte, non corrosif, dépourvu de particules ou d'éléments abrasifs risquant d'endommager le revêtement du réservoir et compacté avec soin. Le haut du réservoir devrait être recouvert d'au moins 0,5 m de remblai.

45. Les réservoirs sous butte devraient être recouverts d'un matériau approprié, inerte, non corrosif, dépourvu de particules ou d'éléments abrasifs risquant d'endommager le revêtement du réservoir et compacté avec soin. Le haut du réservoir devrait être recouvert d'au moins 0,5 m de remblai. La butte doit protéger le réservoir des

rayonnements thermiques; elle devrait être suffisamment solide pour ne pas bouger sous l'impact d'un jet de flammes.

46. Les réservoirs enterrés et les réservoirs sous butte devraient être pourvus en principe d'une ouverture de visite d'un diamètre intérieur d'au moins 560 mm pour permettre les inspections. Sur les réservoirs dépourvus d'ouverture de visite, il convient de ménager s'il y a lieu des regards de visite; au besoin, le réservoir devrait être excavé pour qu'il soit possible d'effectuer une inspection complète. Les raccordements peuvent être montés sur le couvercle de l'ouverture de visite ou directement sur le réservoir; dans le second cas, il pourra être nécessaire d'excaver pour procéder aux inspections.

### **Réservoirs sur châssis**

47. Les réservoirs sur châssis utilisés sur des véhicules ou posés sur le sol devraient être conformes aux dispositions de ce guide concernant les réservoirs fixes.

48. Les réservoirs devraient être construits selon une norme reconnue pour les appareils à pression. Ils devraient satisfaire aux conditions des paragraphes 37 à 40 et 55 à 57 (sûreté mécanique) et à celles des paragraphes 58 à 71 (équipement et accessoires).

49. A moins que les réservoirs n'aient été conçus pour le transport de GPL, il est indispensable de les vider complètement avant de les soulever ou de les déplacer. Il y a lieu d'observer en outre les dispositions applicables de la réglementation sur le transport de substances dangereuses par la route.

50. Les réservoirs placés sur un véhicule devraient être correctement montés de façon à ne pas être soumis à des contraintes inutiles. Les ridelles de la plate-forme du véhicule ne devraient pas empêcher la circulation de l'air autour du réservoir. Aucune partie de celui-ci ne devrait dépasser les côtés ou l'extrémité arrière de la plate-forme du véhicule, à moins que le réservoir n'ait été purgé de tout GPL.

51. Lorsque les réservoirs doivent être utilisés sur le sol, la surface sur laquelle ils doivent être placés devrait être compactée; elle devrait être à peu près de niveau. Les réservoirs devraient

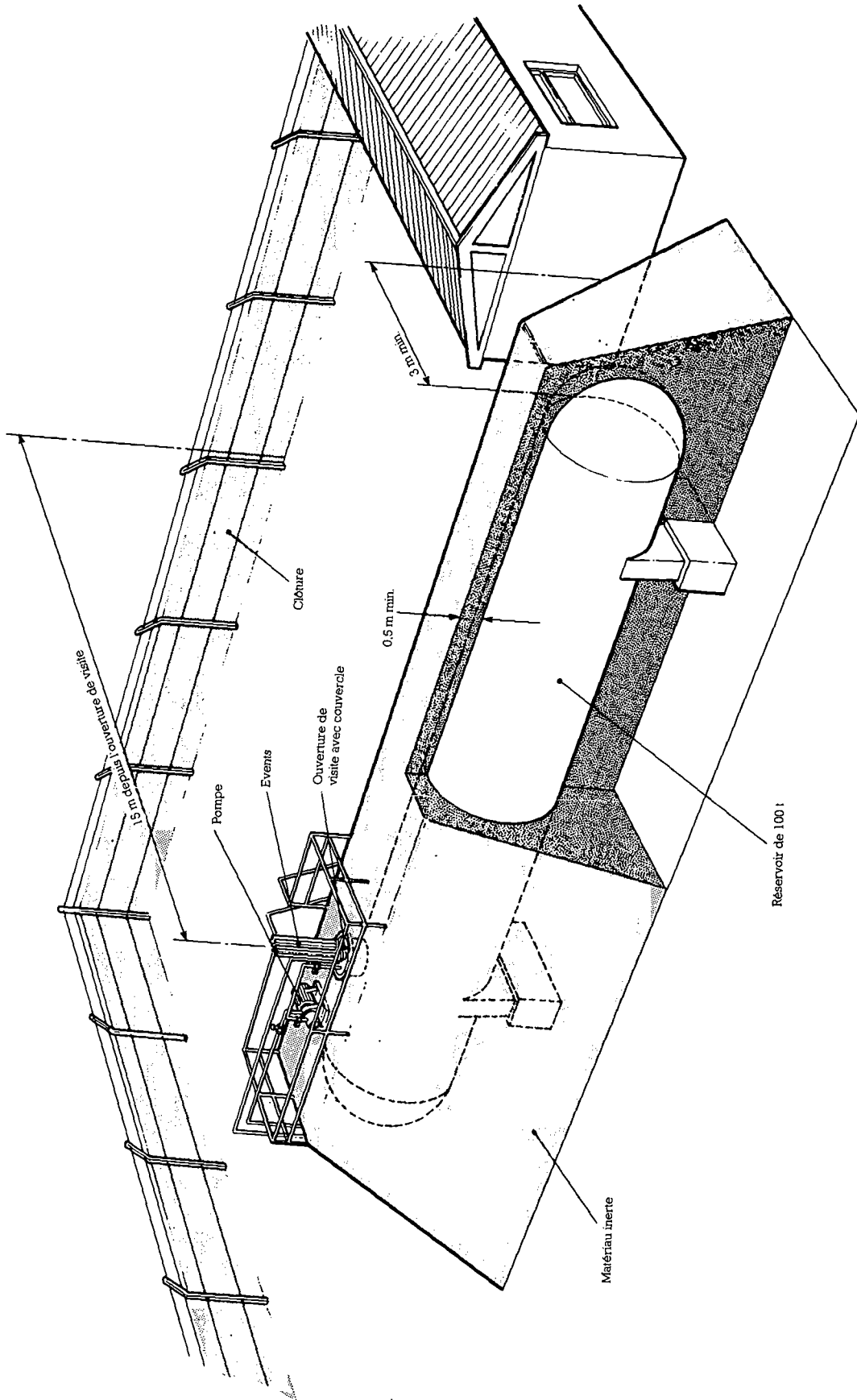


Figure 6. Réservoir sous butte (entièrement recouvert)





reposer sur des pieds intégrés au réservoir ou sur des supports appropriés.

52. Les réservoirs ne devraient être utilisés sur des véhicules que si ceux-ci sont conçus pour le transport de substances dangereuses conformément à la réglementation applicable.

53. Le sol sur lequel le véhicule stationne devrait être solide et à peu près de niveau. Le véhicule devrait être équipé d'un frein de stationnement efficace et être immobilisé en outre au moyen de cales.

54. L'installation des réservoirs sur châssis ayant un caractère temporaire, il est primordial que les tuyauteries soient d'une très bonne qualité. Il convient de les contrôler pour détecter d'éventuelles fuites avant utilisation chaque fois que le réservoir a été déplacé.

### Homologation des réservoirs

55. Après avoir été installés et avant d'être remplis, les réservoirs devraient être inspectés par une personne compétente. L'inspection portera tout particulièrement sur l'équipement et les accessoires, les dispositifs de sécurité, l'installation de remplissage, les supports du réservoir et les fondations. Les réservoirs devraient être homologués pour le stockage du gaz considéré. Les inspections supplémentaires ou les essais qui apparaîtraient nécessaires devraient être décidés par une personne compétente. Un certificat d'exploitation devrait être établi, indiquant les conditions limites d'exploitation: pression, température, remplissage. Pour les réservoirs enterrés et les réservoirs sous butte, l'inspection devrait avoir lieu avant le remblayage.

56. Les réservoirs existants devraient faire l'objet d'une homologation similaire par une personne compétente. Avant la première inspection périodique, le réservoir sera considéré comme neuf. Après la première inspection et lors des inspections ultérieures, les conditions limites d'exploitation devront être confirmées ou révisées par la personne compétente en fonction des résultats de l'inspection. Sur le contrôle et l'inspection du matériel en cours d'exploitation, voir les paragraphes 182 à 191.

### Indication des caractéristiques

57. Comme cela est communément exigé par les normes de construction, les indications suivantes devraient être portées sur les réservoirs ou consignées dans la documentation disponible pour les inspections:

- a) sur les réservoirs (plaque signalétique):
  - nom du constructeur
  - date de construction
  - normes de construction observées
  - numéro de référence
  - pression maximale de service
  - pression minimale de service (si elle est différente de la pression atmosphérique; si elle n'est pas indiquée, on considérera que c'est la pression atmosphérique)
  - pression d'épreuve
  - température minimale de service
  - capacité (volume d'eau)
  - service d'inspection compétent
- b) dans la documentation:
  - remplissage maximal
  - charge maximale admissible sur les supports du réservoir.

### Équipement et accessoires

58. L'équipement et les accessoires des réservoirs devraient être adaptés à l'utilisation avec des GPL aux températures et aux pressions susceptibles d'être rencontrées pendant l'exploitation. Afin de réduire les risques de fuite, le nombre des raccords directs au-dessous du niveau du liquide devrait être aussi réduit que possible. Les réservoirs ne devraient comporter de préférence qu'un seul piquage en phase liquide (en dehors des lignes de purge); les autres piquages devraient se situer dans la partie du réservoir en phase gazeuse.

59. Les réservoirs devraient être équipés d'au moins:

- a) une soupape de sûreté montée directement sur la partie du réservoir en phase gazeuse;
- b) un dispositif de purge ou un autre moyen de vider le réservoir;
- c) un dispositif de jaugeage ou, tout au moins, un indicateur de niveau maximal; l'indicateur de

niveau maximal devrait être indépendant du dispositif de jaugeage;

- d) un raccord de remplissage;
- e) un système empêchant la formation d'un vide excessif (si la conception du réservoir en nécessite un (voir note annexe));
- f) pour les réservoirs d'une capacité supérieure à 5 000 litres (2,2 t), un manomètre monté sur la partie du réservoir en phase gazeuse; les réservoirs d'une capacité inférieure devraient comporter un moyen de déterminer la pression à l'intérieur, par exemple grâce à une prise munie d'un robinet montée sur la partie du réservoir en phase vapeur ou sur la tuyauterie attenante.

### Soupapes de sûreté

60. Les réservoirs situés au-dessus du niveau du sol devraient être équipés d'une ou de plusieurs soupapes de sûreté destinées à les protéger en cas d'échauffement dû à un incendie, conformément aux prescriptions reconnues.

61. Sur les réservoirs enterrés ou les réservoirs sous butte, la capacité d'évacuation des soupapes à plein débit peut être réduite à 30 pour cent, au minimum, de la capacité fixée pour des réservoirs de dimensions équivalentes situés au-dessus du niveau du sol, ou à une autre valeur permettant de protéger convenablement le réservoir.

62. Les soupapes devraient porter les indications suivantes, marquées de façon indélébile:

- nom du fabricant et type de soupape (numéro du catalogue ou du modèle);
- pression de levée;
- capacité homologuée d'évacuation (débit d'air) à une température de 15,6°C et à une pression de 1 bar;
- date de la dernière inspection ou du dernier réglage.

63. Sur les réservoirs équipés d'une seule soupape, il ne doit pas y avoir de robinet d'isolement entre la soupape et la partie du réservoir en phase gazeuse. Sur les réservoirs équipés de plusieurs soupapes avec possibilité d'isoler celles-ci pour les opérations d'entretien et de contrôle, il convient de prévoir un système de

sûreté qui garantisse, lorsqu'une soupape est ainsi mise hors service, que les autres continuent de fonctionner; les autres soupapes devraient assurer la capacité d'évacuation requise par les prescriptions applicables. Pour les réservoirs équipés d'une seule soupape, on peut, pour pouvoir enlever celle-ci pour les opérations d'entretien et de contrôle, installer un robinet à fermeture automatique; ce robinet devrait rester grand ouvert tant que la soupape est en place et se fermer avant l'enlèvement complet de celle-ci. Il ne faut jamais laisser un réservoir sans protection et il convient, dans le cas considéré ici, d'installer tout de suite une autre soupape.

64. Sur les réservoirs d'une capacité supérieure à 5 000 litres (2,2 t) – réservoirs situés au-dessus du niveau du sol – et sur tous les réservoirs enterrés ou placés sous butte, les soupapes devraient être munies d'une cheminée d'évent. Les cheminées devraient être convenablement fixées à la base et devraient déboucher à une hauteur d'au moins 1,8 m au-dessus du sommet du réservoir et d'au moins 3 m au-dessus du niveau du sol. Elles devraient être conçues de façon que, en cas d'inflammation des gaz évacués, les flammes ne puissent atteindre le réservoir ni d'autres réservoirs, des tuyauteries ou des installations situées à proximité. Les cheminées peuvent être munies d'un capuchon parapluie facilement démontable; elles devraient être équipées d'un dispositif d'évacuation des eaux pluviales. Sur les grands réservoirs, le système de décompression peut être raccordé à un dispositif de torche.

65. Les petits réservoirs devraient être pourvus d'un ou de plusieurs événements permettant l'évacuation des gaz des soupapes ou du capot de protection (s'il y en a un). Ces événements devraient être disposés de façon à ne pas diriger les gaz ou les flammes, en cas d'inflammation, sur le corps du réservoir.

### Lignes de purge

66. Les lignes de purge devraient avoir un diamètre inférieur à 50 mm et être munies de deux robinets montés en série. La longueur de la section entre les deux robinets devrait être d'au moins 0,5 m, pour réduire le risque d'obstruction simultanée des deux robinets par le gel en présence d'eau dans le GPL. La ligne de purge ne devrait pas évacuer le liquide sous le réservoir. Le

deuxième robinet et la ligne de purge en aval devraient reposer sur des supports appropriés; ils devraient être fixés de façon à prévenir les risques d'endommagement ou de rupture sous l'effet de vibrations ou d'écoulements violents. Les deux robinets devraient être équipés d'un organe de manœuvre difficile à enlever ou à dégager de la position fermée, sauf de façon intentionnelle (voir paragr. 195).

67. Au lieu du dispositif décrit au paragraphe 66, on pourra installer sur le réservoir un raccord de purge muni d'un robinet unique, avec un bouchon ou une bride pleine à la sortie du robinet. Une tuyauterie supplémentaire et un deuxième robinet devraient être installés en cas de besoin, conformément aux dispositions du paragraphe 66.

68. Le point d'écoulement des lignes de purge devrait se situer à 6 m au moins de tout système d'égouts s'il existe un risque.

### Dispositifs de jauge

69. Dans les dispositifs de jauge comportant un orifice de fuite à l'atmosphère, le diamètre de celui-ci ne devrait pas excéder 1,4 mm. Les dispositifs de jauge devraient indiquer clairement quand le réservoir est rempli à sa capacité normale maximale. Il ne convient pas d'utiliser des dispositifs à niveau visible sur les réservoirs de stockage, sauf pour des applications spéciales (par exemple dans les installations d'étalonnage de compteurs volumétriques pour GPL).

### Robinets

70. Tous les piquages des réservoirs, en phase liquide comme en phase gazeuse, devraient être équipés d'un robinet d'isolement, de préférence à l'épreuve du feu, à l'exception des piquages des soupapes et des piquages d'un diamètre intérieur de 1,4 mm ou moins. Les robinets devraient être installés aussi près que possible du réservoir; toutefois, lorsqu'il n'y a pas de raccord entre le robinet et le réservoir et que le piquage a été construit et contrôlé conformément aux prescriptions applicables aux réservoirs, le robinet peut être situé à l'extrémité aval du piquage. Tous les piquages d'un diamètre intérieur supérieur à 3 mm en phase liquide et à 8 mm en phase gazeuse devraient comporter un dispositif de sécurité tel

qu'un clapet d'excès de débit, un clapet de retenue ou un robinet à fermeture télécommandée.

71. Dans les cas visés ci-après, toutes les tuyauteries d'exploitation en phase liquide d'un diamètre intérieur supérieur à 19 mm devraient être munies d'un robinet à fermeture télécommandée pouvant aussi être manœuvré sur place à la main:

- a) réservoirs utilisés pour des opérations qui comportent de fréquents branchements et débranchements de conduites, par exemple pour le chargement de camions-citernes, l'emplissage de bouteilles, etc.;
- b) installations situées dans des endroits accessibles au public ou dans des endroits où risquent de se trouver un grand nombre de personnes non informées des mesures à prendre en cas d'accident et qui pourraient difficilement être évacuées à temps, par exemple dans des postes de distribution de GPL/carburant;
- c) réservoirs d'une capacité de 225 000 litres (100 t) ou plus.

### Pompes

72. Les pompes devraient être installées selon les règles indiquées au tableau 5 et être solidement fixées; en aucun cas elles ne devraient être placées sous les réservoirs de GPL. Les pompes volumétriques devraient comporter un by-pass ou une autre protection contre le risque de surpression.

### Compresseurs

73. Les compresseurs de gaz devraient être installés de préférence à l'air libre, à un endroit bien aéré, à une distance d'au moins 4,5 m des réservoirs de GPL, des bâtiments et des limites du dépôt. S'ils sont installés dans un local, celui-ci devrait être construit en matériaux non combustibles, avec une toiture légère. Le local devrait comporter une bonne aération naturelle, notamment au niveau du sol. Il devrait être utilisé exclusivement pour les opérations de compression et de distribution de GPL ou d'autres gaz. Les compresseurs devraient comporter au moins:

- a) du côté refoulement, un interrupteur d'arrêt ou un dispositif de sécurité semblable en cas de dépassement de la pression maximale admissible;

- b) un dispositif empêchant l'entrée de GPL liquide dans le compresseur, par exemple un séparateur muni d'un détecteur de liquide.

**Tableau 5. Définition des zones**

Elément	Définition	Classement
Réservoirs de stockage	A. Dans un rayon de 1,5 m de l'orifice de dispositifs de jauge (jauges de niveau fixes, jauges rotatives, jauges graduées) ou des ouvertures de remplissage	Zone 1
	B. Jusqu'à 1,5 m au-dessus du niveau du sol et dans les limites établies pour les sources d'inflammation fixes dans le tableau 2, colonne a	Zone 2
Orifices dégageant à l'air libre des soupapes de sûreté	A. Directement dans l'axe de dégagement	Installation de matériel électrique fixe à proscrire
	B. Dans un rayon de 1,5 m de l'orifice	Zone 1
	C. Dans un rayon compris entre 1,5 m et 4,5 m (ou la distance indiquée au tableau 2, colonne a, pour les réservoirs d'une capacité de 2 500 litres ou moins) de l'orifice	Zone 2
Postes de chargement et de déchargement de véhicules-citernes	A. Dans un rayon de 1,5 m des points où des conduites sont régulièrement branchées et débranchées pour le transvasement	Zone 1
	B. Dans un rayon compris entre 1,5 m et 4,5 m (ou la distance indiquée au tableau 2, colonne a, pour les réservoirs d'une capacité de 2 500 litres ou moins) des points où des conduites sont branchées ou débranchées	Zone 2
Pompes, compresseurs et vaporiseurs (à l'exclusion des vaporiseurs à chauffage direct) Installés à l'extérieur, au niveau du sol ou au-dessus	A. Dans un rayon de 1,5 m	Zone 1
	B. Dans un rayon compris entre 1,5 m et 4,5 m (ou la distance indiquée au tableau 2, colonne a, pour les réservoirs d'une capacité de 2 500 litres ou moins)	Zone 2
Installés à l'intérieur d'un local convenablement ventilé	Local entier et locaux contigus non séparés par une cloison étanche aux gaz	Zone 1

Note. Lorsque les pompes et leurs garnitures d'étanchéité sont régulièrement vérifiées et entretenues avec soin, la zone A autour des pompes peut être classée comme zone 2.

Observations 1. Lorsqu'une zone doit être classée en fonction de plusieurs éléments, il faut retenir le classement le plus sévère.  
2. Les fosses, tranchées ou dépressions à cheval sur une zone 1 et une zone 2 devraient être considérées entièrement comme des zones 1.  
3. L'expression «à l'extérieur» englobe les pompes, les compresseurs et les vaporiseurs installés sous un auvent.

## Tuyauteries

74. Les tuyauteries devraient être étudiées et réalisées suivant les règles de l'art, en vue d'une exploitation à basse température. Elles devraient être faites d'un matériau convenant au transport de GPL. On emploiera en général des tubes d'acier. Pour les tuyauteries d'exploitation en phase

gazeuse, toutefois, on pourra employer des tubes de cuivre étirés sans soudure. Dans ce dernier cas, il convient de tenir compte du risque que peut présenter le phénomène d'écrouissement du cuivre quand il est mis en œuvre. Les tuyauteries en fonte doivent être proscrites. Les tuyauteries pour le transport de propane en phase gazeuse devraient être réalisées en un matériau supportant les basses

températures jusqu'à moins 20°C; les tuyauteries susceptibles de travailler à la fois en phase liquide et en phase gazeuse, par exemple dans les systèmes de torchère et de purge, doivent être étudiées s'il y a lieu pour des températures plus basses.

75. Les tuyauteries de GPL devraient être conformes aux normes ou aux recommandations applicables, notamment les tuyauteries d'un diamètre intérieur supérieur à 50 mm, les tuyauteries soumises à la pleine pression des réservoirs et les tuyauteries d'exploitation en phase liquide.

76. Les raccordements devraient être limités au minimum. Sur les tuyauteries d'un diamètre extérieur supérieur à 50 mm, ils devraient être réalisés par soudage bout à bout ou par brides soudées, sauf pour les raccordements avec des équipements à raccords filetés. Sur les tuyauteries d'un diamètre de 50 mm ou moins, les raccordements peuvent s'effectuer par des raccords filetés. Si ceux-ci risquent d'être soumis à des vibrations, il convient de les renforcer au besoin par un point de soudure pour prévenir tout desserrement. Les mastics d'étanchéité pour les raccords filetés et les joints d'étanchéité devraient être appropriés pour des tuyauteries de GPL.

77. Pour prévenir l'accumulation d'électricité statique, il convient d'assurer la continuité électrique des tuyauteries, la résistance par rapport à la terre ne dépassant pas  $10^6$  ohms. Dans la pratique, on peut arriver facilement à une résistance de moins de 100 ohms, valeur qui risque peu d'augmenter avec le temps jusqu'à plus de  $10^6$  ohms, sauf si l'installation est exposée à une forte corrosion. On se reportera à ce sujet aux normes applicables.

78. Il importe d'étudier les caractéristiques et le tracé des tuyauteries de façon à en réduire la contenance au minimum et à limiter ainsi les risques. Le tracé choisi devrait prévenir autant que possible les risques d'endommagement, notamment par des véhicules; là où un tel risque existe, il convient d'installer des dispositifs de protection tels que des barrières, des bornes, etc. Les tuyauteries devraient être posées de préférence au-dessus du sol; elles devraient éviter les sources de chaleur ou de froid ou être protégées contre toute chaleur ou tout froid excessif. On évitera de

faire passer des tuyauteries contenant du GPL en phase liquide ou en phase gazeuse à une pression supérieure à 37 mbar dans des bâtiments. Si cela n'est pas possible, la tuyauterie devrait être installée dans le bâtiment de façon à être bien ventilée et protégée contre les accidents mécaniques. La longueur du tronçon de tuyauterie à l'intérieur du bâtiment devrait être aussi réduite que possible.

### **Tuyauteries en tranchée**

79. Les tuyauteries en tranchée pour le transport de GPL en phase liquide devraient être conformes aux dispositions indiquées ci-après.

Il importe de tenir compte, dans la conception de la tuyauterie, des charges et des contraintes supplémentaires dues au remblayage ou à l'installation en tranchée.

Il convient, si cela est nécessaire, de protéger la tuyauterie contre la corrosion, par exemple au moyen de ruban paraffiné, d'une enveloppe goudronnée ou d'une protection cathodique (on consultera à ce sujet des spécialistes).

La tuyauterie devrait être posée sur des supports appropriés dans une tranchée ouverte peu profonde, bétonnée ou garnie de maçonnerie, et recouverte, là où il y a lieu, de grilles pour le passage des piétons.

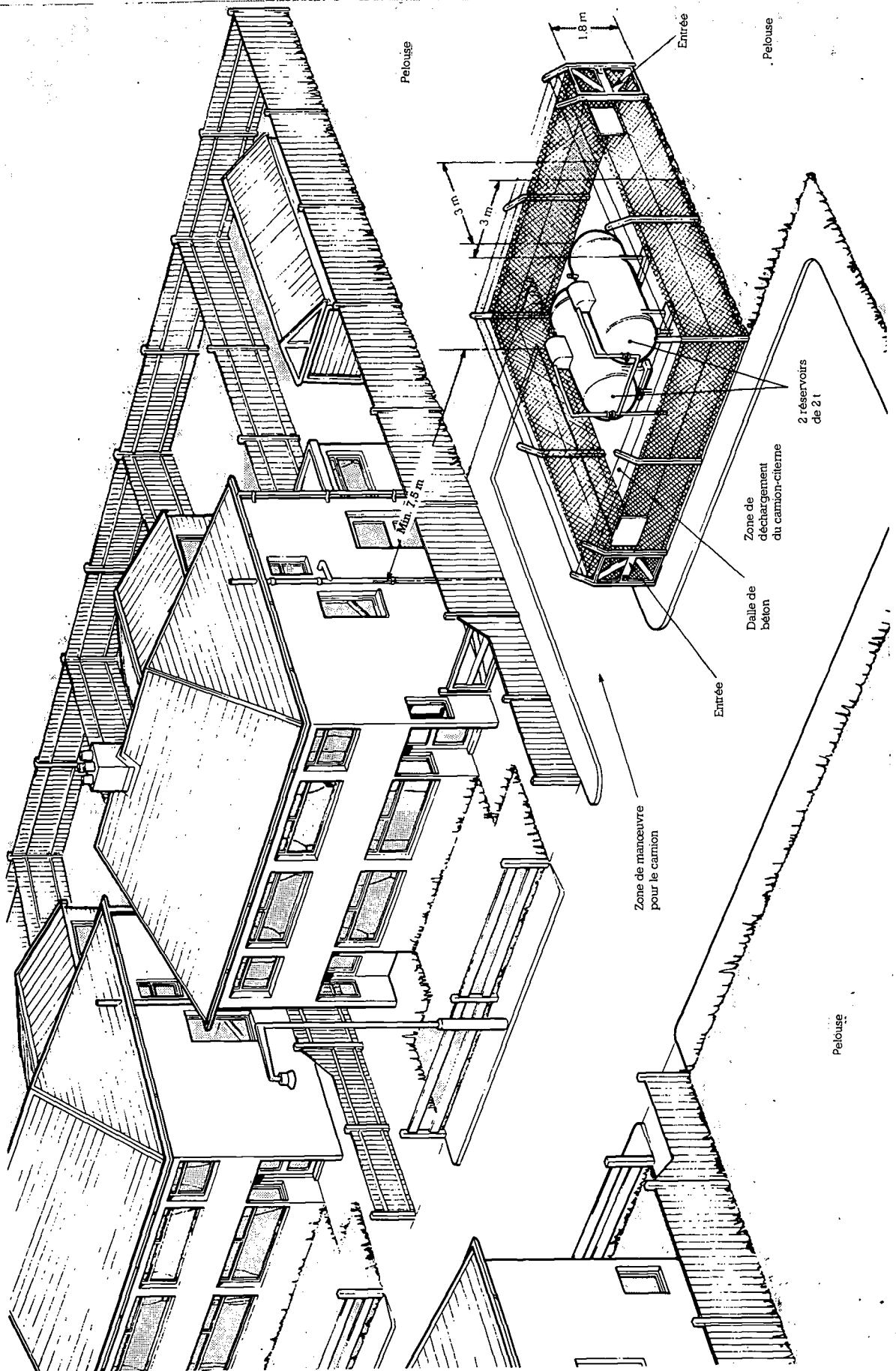
La tranchée peut être remblayée avec un matériau inerte, non corrosif et exempt de particules ou d'éléments abrasifs risquant d'endommager la protection contre la corrosion. Sur l'inspection des tuyauteries, voir le paragraphe 188.

Aux points de passage des véhicules et aux endroits qui peuvent recevoir des charges, la tranchée devrait être protégée par des dalles ou une couverture résistante.

Tous les raccordements devraient se faire par soudage.

Au lieu de poser la tuyauterie dans une tranchée bétonnée ou garnie de maçonnerie, on peut la faire passer à l'intérieur d'une autre tuyauterie d'un diamètre plus gros. L'espace entre la tuyauterie extérieure et la tuyauterie intérieure devrait être obturé de façon étanche aux deux extrémités, avec un moyen de contrôle pour y détecter les fuites (habituellement par enregistrement de tout changement de pression). La gaine extérieure

Figure 8. Réseau d'alimentation pour un groupe de maisons



devrait se terminer au-dessus du niveau du sol ou dans un puits d'inspection.

Des robinets d'isolement devraient être installés aux deux extrémités du tronçon enterré.

Le tracé de la tuyauterie devrait être relevé et, si cela est possible, marqué de façon permanente.

On pourra poser dans la même tranchée des tuyauteries transportant des liquides inertes ou inflammables, mais non des tuyauteries transportant des produits corrosifs ou toxiques ni des conduites de vapeurs.

On évitera de poser des canalisations électriques dans les tranchées où sont installées des tuyauteries de GPL, à moins que les canalisations ne soient protégées par un tuyau extérieur ou une gaine.

80. Pour le transport de GPL en phase gazeuse ou de mélanges de GPL et d'air, on peut utiliser des tuyaux appropriés en polyéthylène. Ces tuyaux devraient être enterrés. La partie terminale, au point où ils sortent de terre, devrait être aussi courte que possible et ne pas dépasser 2 m; elle devrait être protégée contre le rayonnement ultraviolet et les accidents mécaniques, par exemple par une gaine. Les tuyaux peuvent aussi être raccordés sous terre à une tuyauterie métallique à l'aide de raccords appropriés.

81. Les tuyauteries pour le transport de GPL en phase gazeuse peuvent être installées dans une tranchée nue remblayée avec un matériau non corrosif. Les tuyauteries métalliques devraient être protégées contre la corrosion, par exemple à l'aide de ruban paraffiné, d'une enveloppe goudronnée ou d'une protection cathodique. Le matériau de remblai devrait être exempt de particules ou d'éléments abrasifs risquant d'endommager le revêtement protecteur.

### **Soupapes hydrostatiques de sûreté**

82. Les tuyauteries où du GPL en phase liquide peut se trouver bloqué, par exemple dans un tronçon compris entre deux robinets d'isolement, devraient être protégées contre le risque de surpression au moyen de soupapes hydrostatiques. Lorsque ces soupapes dégagent dans l'atmosphère, le dégagement devrait se faire à l'air libre, sans présenter de risque pour les personnes ou le

matériel. On évitera d'installer des soupapes hydrostatiques au-dessous des réservoirs; si on ne peut l'éviter, les soupapes devraient être disposées de façon à ne pas dégager en direction du réservoir ou des voies d'accès proches. Dans les raffineries de pétrole et les grandes installations du même genre, on pourra choisir d'autres solutions pour prévenir le risque de surpression dans les tuyauteries.

### **Tuyauteries flexibles**

83. Les tuyauteries flexibles pour GPL devraient être conformes aux normes applicables. Elles ne devraient être utilisées que dans les cas où cela est indispensable et devraient être aussi courtes que possible. Les tuyauteries flexibles employées pour le transport de GPL en phase liquide devraient être munies d'une soupape hydrostatique pour limiter la pression intérieure à celle pour laquelle la tuyauterie est conçue ou à la pression d'exploitation des tuyauteries rigides si celle-ci est plus basse. Pour l'utilisation des tuyauteries flexibles dans les opérations de chargement et de déchargement, voir le paragraphe 152.

84. Les tuyauteries rigides transportant du GPL en phase liquide auxquelles une tuyauterie flexible est raccordée devraient être munies d'un dispositif de sécurité tel qu'un clapet de retenue, un clapet d'excès de débit ou un robinet à fermeture télécommandée afin de prévenir le risque d'échappement prolongé de GPL en cas de défaillance de la tuyauterie flexible.

### **Supports pour les réservoirs et les tuyauteries**

#### *Supports pour réservoirs*

85. Les supports devraient être réalisés conformément aux prescriptions régissant la construction des réservoirs. Ils devraient autoriser les mouvements du réservoir dus aux variations de température et être conçus de façon à prévenir toute accumulation d'eau ou à assurer l'écoulement de l'eau. Pour les réservoirs horizontaux, les supports devraient être disposés de manière à réduire le plus possible les contraintes de flexion sur le réservoir. Des supports supplémentaires devraient être aménagés s'il y a lieu.

286. Les réservoirs devraient reposer sur des supports en béton, en maçonnerie ou en acier, sur

une assise solide. Les supports (à l'exclusion des pieds de réservoir d'une hauteur inférieure à 460 mm, des berceaux ou des jupes des réservoirs verticaux) devraient être construits ou protégés de façon à résister au feu pendant 2 heures au moins.

87. Pour les réservoirs horizontaux d'une capacité supérieure à 5 000 litres (2,2 t), lorsque les supports sont établis sur des pieux, le réservoir devrait être ancré d'un côté, l'autre côté pouvant bouger. Le côté ancré est celui qui devrait recevoir les piquages principaux en phase liquide et les piquages en phase gazeuse. Les réservoirs devraient être pourvus en principe de berceaux soudés. A défaut, les supports devraient épouser la forme du réservoir et comporter des garnitures destinées à prévenir la détérioration ou l'affaiblissement de l'enveloppe du réservoir.

88. Les réservoirs verticaux devraient reposer sur une structure ouverte assurant une bonne ventilation naturelle sous le réservoir et permettant la dispersion de l'énergie dégagée en cas d'explosion. Dans le cas des réservoirs verticaux posés sur une jupe cylindrique, les raccordements de tuyauterie réalisés à l'intérieur de la jupe devraient l'être par soudage ou au moyen de brides soudées.

#### Supports pour tuyauteries

89. Les supports devraient être conçus, espacés et établis comme l'exige la configuration de la tuyauterie et de manière à résister aux efforts exercés aux points d'ancrage et de guidage de celle-ci.

## Vaporiseurs

### Généralités

90. Les vaporiseurs peuvent fonctionner à la vapeur à basse pression, à l'eau chaude, à l'électricité ou par chauffage direct. Ils devraient avoir une puissance suffisante pour assurer le débit maximal de gaz à fournir. Pour le butane, il convient de prévenir la condensation et l'accumulation de butane liquide dans les conduites de gaz vaporisé, par exemple en gainant ou en chauffant les conduites et en installant des séparateurs d'une capacité suffisante pour recueillir la quantité susceptible de se condenser pendant un arrêt de l'installation. Pour les vaporiseurs chauffés à l'eau

chaude, il convient d'ajouter s'il y a lieu de l'antigel à l'eau pour empêcher la congélation.

91. Les vaporiseurs devraient être conçus, construits et essayés conformément à la réglementation des appareils à pression.

92. Il ne faut pas installer des serpentins de réchauffage à l'intérieur des réservoirs de stockage pour produire la vaporisation.

93. Comme cela est communément exigé par les prescriptions régissant la construction des vaporiseurs, les indications suivantes devraient être portées sur les appareils (plaque signalétique) ou consignées dans la documentation disponible pour les inspections:

- nom du constructeur et numéro de série du vaporiseur;
- prescriptions applicables à la construction;
- pression maximale de service;
- température maximale et minimale de service;
- année de construction.

94. Les vaporiseurs devraient être installés à un endroit bien ventilé, de préférence à l'air libre; ils ne devraient pas être placés dans des fosses ou des dépressions ou à proximité. Il convient d'observer les distances de sécurité indiquées au tableau 6 par rapport aux bâtiments importants, aux limites du dépôt ou aux propriétés voisines. Sous les vaporiseurs, le sol devrait être bétonné et présenter une légère pente de façon qu'en cas de fuite le GPL s'écoule vers une zone sûre, loin du vaporiseur et de tout réservoir de GPL.

**Tableau 6. Implantation des vaporiseurs: distances de sécurité**

Puissance du vaporiseur (kg/h)	Distance minimale entre le vaporiseur et les limites du dépôt ou le bâtiment le plus proche (m)
Jusqu'à 36	3
>36 à 230	7,5
plus de 230	15

95. Pour les vaporiseurs à chauffage direct et les vaporiseurs électriques qui ne sont pas d'un modèle antidéflagrant, il faut observer, entre les vaporiseurs et les réservoirs de GPL, une distance de sécurité égale ou supérieure à la distance indiquée au tableau 2, colonne a, pour les sources d'inflammation.



96. Les vaporiseurs autres que ceux qui sont visés au paragraphe 95 devraient être installés à une distance d'au moins 1,5 m des réservoirs de GPL.

97. Si les vaporiseurs sont installés dans un local, celui-ci devrait être construit en matériaux non combustibles, avec une toiture légère permettant la dispersion de l'énergie libérée en cas d'explosion. Le local devrait comporter une bonne aération naturelle, surtout au niveau du sol. Il devrait être utilisé exclusivement pour les opérations de vaporisation et de distribution de GPL.

98. Les conduites d'exploitation (en phase liquide et en phase gazeuse) reliant les réservoirs de stockage de GPL aux vaporiseurs devraient être pourvues de robinets d'isolement.

### **Dispositifs de purge**

99. Les installations de vaporisation devraient être équipées d'un dispositif de purge permettant d'évacuer en toute sécurité les produits lourds qui s'accumuleraient dans la partie GPL de l'installation. Ces dispositifs devraient satisfaire aux normes applicables aux lignes de purge des réservoirs de stockage (paragr. 66).

### **Soupapes de sûreté**

100. Les vaporiseurs devraient être munis d'une soupape de sûreté raccordée directement à la chambre de vaporisation. Ces soupapes devraient être réglées (pressions de levée et de plein débit) conformément aux prescriptions régissant la construction des vaporiseurs. Elles devraient évacuer directement à l'air libre, loin du vaporiseur et de tout réservoir de GPL installé à proximité, ou être reliées à une ligne de torche. Elles devraient avoir un débit suffisant pour protéger le vaporiseur contre le risque de surpression en cas d'incendie et avec l'apport maximal de chaleur du système de chauffage.

### **Contrôle de l'arrivée de GPL en phase liquide**

101. Les vaporiseurs devraient être pourvus d'un dispositif automatique empêchant, dans toutes les conditions d'exploitation, le passage de GPL en phase liquide dans le circuit de gaz vaporisé.

### **Limitation de la température maximale de service**

102. Les vaporiseurs devraient être munis d'un dispositif automatique prévenant le risque de dépassement de la température maximale de chauffage.

### **Clôtures de sécurité**

103. Les réservoirs et les installations connexes devraient être protégés contre les risques d'intervention accidentelle et les actes de malveillance.

104. Les réservoirs, les vaporiseurs et les pompes devraient être protégés par une clôture de sécurité d'une hauteur d'au moins 1,8 m établie à une distance d'au moins 1,5 m. La clôture devrait comporter deux portes éloignées l'une de l'autre qui permettent de s'échapper rapidement de l'intérieur en cas de nécessité. Les portes devraient s'ouvrir vers l'extérieur; elles ne devraient pas être équipées de dispositif de verrouillage automatique et ne devraient pas être verrouillées lorsque des personnes se trouvent à l'intérieur (certaines dérogations à ces règles sont indiquées aux paragraphes 107 et 108).

105. Les clôtures de sécurité devraient être réalisées de façon à ne pas trop entraver l'aération naturelle de l'installation. Une clôture en grillage robuste, par exemple en treillis de 2,5 mm ou en panneaux de fils d'acier soudés de 2,5 mm avec des ouvertures de 52 x 52 mm, fixée sur des poteaux de béton, offre une protection satisfaisante. Les clôtures en bois, notamment les ouvrages en treillis, devraient être proscrites car elles sont combustibles et risquent d'entraver l'aération naturelle.

106. Les réservoirs accessibles au public sans surveillance, comme ceux qui alimentent des lotissements ou des zones industrielles ouvertes, devraient être entourés d'une clôture de sécurité. Pour les réservoirs d'une capacité de 9 000 litres (4 t) ou moins, la clôture devrait être installée à 3 m au moins du réservoir. Pour les réservoirs d'une capacité comprise entre 2 500 litres (1,1 t) et 9 000 litres (4 t), il convient de prendre des dispositions pour prévenir l'accumulation de matières combustibles et la présence de sources d'inflammation à l'extérieur de la clôture, dans le

périmètre défini par les distances de sécurité. Pour les réservoirs d'une capacité supérieure à 9 000 litres (4 t), il convient de consulter les services compétents sur l'implantation de la clôture.

107. Dans les installations industrielles où il existe un service de gardiennage, la clôture établie sur le périmètre des terrains peut être considérée comme suffisante. Toutefois, si le dépôt de GPL est situé en un point écarté, si la surveillance est peu fréquente et s'il arrive que des personnes non autorisées pénètrent sur le terrain, une clôture de sécurité supplémentaire devrait être installée autour du dépôt.

108. Les règles concernant l'établissement de clôtures de sécurité peuvent être assouplies pour les réservoirs d'une capacité de 9 000 litres (4 t) ou moins si l'accès à la robinetterie est interdit par un couvercle solide à serrure, par un grillage métallique entre les piliers de support ou par d'autres moyens appropriés. Lorsque la protection est assurée par un couvercle à serrure, celui-ci devrait rester toujours fermé et verrouillé, sauf lors du remplissage du réservoir. Il devrait être possible de se procurer rapidement la clé en cas d'urgence. Les dispositions autorisées ici ne sont pas applicables aux installations accessibles au public sans contrôle.

### **Protection contre les véhicules**

109. On évitera d'implanter les réservoirs de GPL et les installations connexes, notamment les tuyauteries, dans des zones où circulent des véhicules. Pour assurer une protection là où il y a lieu, on installera des bornes ou des glissières solides. Les clôtures de sécurité ne peuvent guère offrir une protection suffisante, pas plus que les mesures de régulation de la circulation (signalisation, panneaux d'avertissement, etc.).

110. Les réservoirs enterrés devraient être protégés contre les surcharges engendrées par le passage de véhicules, soit par l'établissement d'une clôture autour de la zone occupée par le réservoir, soit par la pose d'une dalle de couverture. Les tuyauteries enterrées devraient être protégées de façon analogue là où cela est nécessaire.

111. Les voitures et autres véhicules à essence relevant de l'exploitant devraient être garés à une distance d'au moins 6 m des réservoirs de GPL ou à

la distance indiquée au tableau 2, colonne a, si celle-ci est inférieure. Les véhicules Diesel relevant de l'exploitant peuvent être garés jusqu'à 3 m des réservoirs, à condition de ne pas entraver la ventilation. Les véhicules ne relevant pas de l'exploitant, par exemple ceux de personnes étrangères aux installations, ne devraient pas être garés à une distance des réservoirs inférieure à celles qui sont indiquées au tableau 2, colonne a.

### **Marquage**

112. Le but du marquage est, d'une part, d'attirer l'attention sur la nature dangereuse du contenu des réservoirs, des tuyauteries, etc.; d'autre part, d'éviter, dans les conditions normales d'exploitation ou lors d'une situation critique, des confusions qui pourraient entraîner des fausses manœuvres capables de provoquer ou d'aggraver un accident. Les dispositions qui suivent s'ajoutent à celles des paragraphes 57 et 93.

113. Le marquage devrait être clair et durable. Les indications de service devraient être portées sur des plaques signalétiques ou des étiquettes solidement fixées à l'élément correspondant, ou être portées directement sur l'élément en question. Les étiquettes en papier ne conviennent pas.

114. Le marquage par poinçonnage direct sur les éléments d'installation n'est indiqué que s'il ne nuit pas à la solidité ou à la résistance de ceux-ci et s'il ne risque pas d'être rendu illisible par l'usure ou par l'application de peinture.

115. Les réservoirs devraient porter, en caractères bien lisibles, l'indication «gaz de pétrole liquéfié» ou le nom de la substance qu'ils contiennent s'il y a risque de confusion. Cette indication devrait être accompagnée des mots «très inflammable» ou du pictogramme prévu par les prescriptions applicables.

116. Les tuyauteries devraient être marquées ou peintes de couleurs distinctives (ou les deux) pour indiquer la substance qu'elles transportent ainsi que la phase d'exploitation – liquide ou gazeuse. On appliquera lorsqu'il y a lieu le code des couleurs de sécurité prévu par les prescriptions en vigueur.

### **Robinets et raccords**

117. Le mode d'actionnement des robinets d'isolement manuels devrait être clair. Les points

d'actionnement des robinets d'isolement télécommandés et des systèmes de pulvérisation d'eau devraient être bien signalés; leur mode d'actionnement devrait être clairement indiqué.

118. Lorsque l'installation comporte côte à côte des raccords de chargement/déchargement pour butane et pour propane, ils devraient être clairement repérés.

### **Classement des zones pour l'installation du matériel électrique**

119. Le matériel électrique devrait être installé à des endroits où il ne présente pas de risque, à une certaine distance des réservoirs et des installations de GPL. Lorsque cela n'est pas faisable, le secteur où les réservoirs et les installations de GPL se trouvent peut être subdivisé en zones d'après le risque de formation de concentrations de vapeurs inflammables, afin que le matériel électrique puisse être convenablement protégé, selon son emplacement.

Les zones sont définies comme suit:

Zone 0: Présence continue ou pendant des périodes prolongées d'un mélange gaz/air inflammable;

Zone 1: Présence d'un mélange gaz/air inflammable à craindre dans les conditions normales d'exploitation;

Zone 2: Présence d'un mélange gaz/air inflammable à craindre seulement dans des situations anormales, non dans les conditions normales d'exploitation.

Sur la méthode de classement et sur le choix du matériel électrique approprié aux différentes zones, on consultera le cas échéant les normes ou les prescriptions de sécurité applicables.

120. S'il est nécessaire d'installer du matériel électrique à proximité des réservoirs de GPL ou des équipements connexes, l'installation devrait être conforme aux dispositions et respecter les distances de sécurité indiquées au tableau 5.

121. Il n'est pas nécessaire en principe de protéger les réservoirs de GPL contre la foudre.

## **Précautions contre l'incendie**

### **Généralités**

122. Le risque d'incendie peut être considérablement réduit par des dispositions appropriées sur le plan de la conception et de l'implantation des installations, de la réalisation technique, des méthodes d'exploitation et de la formation du personnel (pour les opérations normales d'exploitation et les mesures à prendre en cas de situation critique). Du point de vue de la conception et de l'aménagement des installations, il convient de veiller notamment aux points suivants: approvisionnement en eau, moyens de protection et de lutte contre l'incendie, moyens de protection des équipes de lutte contre l'incendie, voies d'accès pour le matériel des sapeurs-pompiers, moyens d'appel rapide des sapeurs-pompiers.

123. La législation règle généralement l'organisation et la mission des services publics de lutte contre l'incendie. Les services locaux peuvent conclure des accords d'entraide avec les équipes de lutte contre l'incendie constituées dans les dépôts de GPL. Les sapeurs-pompiers devraient toujours être alertés en cas d'incendie pouvant menacer un dépôt. Une fois sur place, c'est eux qui devraient prendre la direction de la lutte contre l'incendie.

124. Il convient de consulter à un stade précoce les services publics de lutte contre l'incendie lors de l'étude des dépôts de GPL. Il convient de consulter de même l'autorité chargée d'assurer l'application de la législation sur la sécurité et la santé au travail et des autres dispositions pertinentes pour obtenir s'il y a lieu des indications complémentaires sur la protection et la lutte contre l'incendie.

### **Protection contre l'incendie**

125. Les réservoirs de GPL menacés par un incendie devraient être convenablement refroidis pour prévenir les risques d'endommagement. On peut le faire en assurant sur les réservoirs un écoulement d'eau d'un débit suffisant pour maintenir un bon film d'eau sur la surface des réservoirs et sur les supports.

126. On peut également protéger les réservoirs contre le rayonnement thermique en les enterrant, en les recouvrant de terre ou d'un autre matériau approprié ou par d'autres méthodes, par exemple la

pose d'un revêtement isolant, offrant une protection comparable à celle que peut assurer une bonne installation de refroidissement à l'eau (canon à eau ou installation de pulvérisation fixe). Lorsqu'on a recours à ces méthodes, il n'est pas nécessaire de prévoir un système de refroidissement à l'eau, sauf pour les ouvertures de visite non protégées des réservoirs enterrés ou des réservoirs sous butte. Il reste nécessaire de prévoir s'il y a lieu de tels systèmes aux points de déchargement des véhicules-citernes et sur les installations d'exploitation renfermant du GPL.

#### *Approvisionnement en eau*

127. Toutes les installations devraient disposer d'un approvisionnement suffisant en eau pour assurer la protection contre l'incendie en cas de situation critique. Pour protéger convenablement des réservoirs menacés par le feu, il faut prévoir un débit d'eau de 10 litres par mètre carré par minute sur toute la surface du réservoir pendant au moins 60 minutes. Il convient d'accroître au besoin la réserve d'eau s'il n'y a pas d'autres sources d'eau à proximité de l'installation. Si l'on emploie un système qui récupère et recycle l'eau mise en œuvre, celui-ci devrait comprendre un réservoir capable d'assurer le débit requis pendant 30 minutes au moins sans recyclage d'eau. Il convient aussi d'envisager la possibilité d'une panne d'électricité dans le dépôt et les conséquences que cela pourrait avoir pour les mesures de protection contre l'incendie.

128. Les bouches d'incendie et les systèmes d'arrosage fixes devraient être aménagés de façon qu'il soit possible de régler le débit d'eau à partir d'un endroit sûr, à une distance égale au moins à la distance de sécurité indiquée au tableau 2, colonne a. Il convient de prévoir, sur les canalisations d'alimentation des systèmes d'arrosage, des raccords pour le matériel des sapeurs-pompiers; ces raccords devraient être installés à des endroits sûrs, choisis en accord avec les sapeurs-pompiers.

129. Il convient d'établir un système d'écoulement et d'égouts qui permette d'évacuer l'eau utilisée pour la protection et la lutte contre l'incendie. On installera au besoin des siphons isolateurs pour empêcher l'entrée de GPL dans les canalisations d'eaux pluviales et dans les égouts.

#### *Moyens de protection contre l'incendie*

130. Les moyens de protection contre l'incendie à prévoir dans les dépôts de GPL dépendent de plusieurs facteurs: capacité de stockage maximale du dépôt, capacité unitaire des réservoirs, fréquence des opérations de chargement/déchargement de véhicules-citernes, existence de risques particuliers d'incendie (par exemple dans les centres de remplissage de bouteilles de GPL). Les paragraphes 131 à 141 donnent des indications sur les dispositions à prévoir, dispositions récapitulées au tableau 7. L'autorité compétente pourra fixer des exigences plus élevées pour les cas où d'autres facteurs entrent en jeu: existence de risques particuliers au voisinage du dépôt, distance de la source d'eau la plus proche, temps nécessaire aux sapeurs-pompiers pour arriver sur les lieux.

#### *Installations domestiques, installations commerciales ou industrielles de faible capacité*

131. Pour les installations domestiques et pour les installations commerciales ou industrielles dont la capacité ne dépasse pas 2 500 litres (1,1 t), il convient de prévoir une alimentation en eau suffisante à l'usage des sapeurs-pompiers, alimentation qui peut être constituée par une bouche d'incendie, un étang, un canal ou une rivière. Le point d'alimentation en eau devrait être facilement accessible, en principe à moins de 100 m des réservoirs.

132. Dans les endroits écartés et peu habités où il est facile d'évacuer les personnes présentes, le point d'alimentation en eau pourra se trouver à plus de 100 m des réservoirs. Dans ce cas, il convient de consulter le corps des sapeurs-pompiers et d'établir un plan d'évacuation détaillé, porté à la connaissance des personnes habitant à proximité de l'installation.

#### *Installations d'une capacité totale de plus de 2 500 litres (1,1 t) et de moins de 56 250 litres (25 t)*

133. Pour les installations de cette importance, les moyens à prévoir peuvent se limiter à une alimentation suffisante en eau à l'usage des sapeurs-pompiers, sauf si l'installation comprend des réservoirs d'une capacité supérieure à 15 750 litres (7 t) avec des piquages en phase liquide. Ces

moyens dépendront au demeurant de l'observation des autres dispositions prévues dans le présent guide. Il convient de tenir compte également des possibilités d'évacuation de la population de la zone avoisinante et du temps nécessaire aux sapeurs-pompiers pour arriver sur les lieux.

134. Si l'installation comprend des réservoirs d'une capacité supérieure à 15 750 litres (7 t) avec des piquages en phase liquide non pourvus de robinets de sécurité à commande à distance, il faut envisager l'aménagement d'un système de refroidissement à l'eau de ces réservoirs, à l'aide de canons à eau fixes ou mobiles ou d'autres dispositifs appropriés.

*Installations d'une capacité totale de 56 250 litres (25 t) ou plus mais de moins de 112 500 litres (50 t)*

135. Dans les installations de cette catégorie, il faut prévoir des systèmes de refroidissement à l'eau des réservoirs, à l'aide de canons à eau fixes ou mobiles ou d'autres dispositifs appropriés.

*Installations d'une capacité totale de 112 500 litres (50 t) ou plus*

136. Dans les installations d'une capacité totale de 112 500 litres (50 t) ou plus, les réservoirs devraient être protégés par des dispositifs de pulvérisation d'eau à commande entièrement automatique, c'est-à-dire capables de détecter un incendie menaçant le réservoir et de déclencher le refroidissement sans intervention manuelle. Les dispositifs de détection d'incendie fondés uniquement sur le contrôle de la pression interne des réservoirs ne conviennent pas pour cette application. Dans les raffineries et dans les grandes installations du même genre dotées d'un système de surveillance continue, on pourra avoir des dispositifs de refroidissement à commande manuelle. Il faut prévoir, dans ces installations, qu'il ne sera pas forcément nécessaire de refroidir tous les réservoirs à la fois et aménager, le cas échéant, des systèmes permettant de refroidir des réservoirs isolés ou des groupes de réservoirs. Il convient d'établir des postes de commande manuelle en des endroits sûrs, à une certaine distance des réservoirs (voir paragraphe 128).

#### *Autres installations*

137. Dans les installations de remplissage de bouteilles de GPL, il convient d'équiper les réservoirs de stockage de systèmes fixes de pulvérisation d'eau. La même protection devrait être prévue, s'il y a lieu, dans certaines installations de remplissage de bombes d'aérosol où les réservoirs pourraient être menacés par un incendie dans l'installation de remplissage ou dans le dépôt d'aérosols. Il n'est pas nécessaire d'établir des systèmes fixes de refroidissement à l'eau aux postes de distribution de GPL/carburant où les mesures prévues au paragraphe 71 sont applicables ou dans les installations où le nombre des bouteilles à remplir est faible (bouteilles pour des chariots élévateurs par exemple).

138. Dans les installations d'une capacité totale de 56 250 litres (25 t) ou plus, le poste de chargement/déchargement des camions-citernes devrait être équipé des mêmes moyens de protection contre l'incendie que les réservoirs fixes.

139. Dans les installations qui reçoivent plus de deux camions-citernes par semaine pour la livraison ou pour le chargement de GPL (moyenne calculée sur six mois, y compris la saison froide), il convient d'étudier la mise en place de moyens de protection contre l'incendie supplémentaires au poste de chargement/déchargement des camions.

140. Les postes de chargement/déchargement des wagons-citernes devraient être équipés de systèmes fixes de pulvérisation d'eau ou de moyens de protection contre l'incendie équivalents.

141. Pour l'application des paragraphes 131 à 138, les réservoirs éloignés du réservoir le plus proche d'une distance égale à la somme des distances de sécurité indiquées au tableau 2, alinéa a, peuvent être considérés isolément.

**Tableau 7. Moyens de protection contre l'incendie: récapitulation**

Capacité des installations		Moyens de protection	Paragr.
Litres	Tonnes		
150-2 500	< 1,1	Alimentation en eau pour les sapeurs-pompiers à 100 m au maximum	127
Installations domestiques			131
150-2 500	< 1,1	Alimentation en eau pour les sapeurs-pompiers à 100 m au maximum	127, 131
Installations commerciales ou industrielles		Tuyau sur dévidoir ou	
		2 extincteurs à eau de 9 litres	143
		2 extincteurs à poudre de 9 kg (pas pour les installations commerciales)	144
> 2 500-< 56 250	> 1,1-<25	Alimentation en eau pour les sapeurs-pompiers à 100 m au maximum	127, 133
Réservoir de > 15 750 litres avec piquages en phase liquide	> 7	Tuyau sur dévidoir	143
		2 extincteurs à poudre de 9 kg	144
		Alimentation en eau	127
		Prévoir éventuellement un système de refroidissement des réservoirs à l'eau	134
		Tuyau sur dévidoir	143
56 250-< 112 500	25 <50	2 extincteurs à poudre de 9 kg	144
		Alimentation en eau	127
		Canons à eau fixes et/ou mobiles	135
		Tuyau sur dévidoir	143
> 112 500	> 50	Alimentation en eau	127
Installations de remplissage de bouteilles		Système automatique fixe de pulvérisation d'eau	136
		Tuyau sur dévidoir	143
		2 extincteurs à poudre de 9 kg	144
		Alimentation en eau	127
		Système automatique fixe de pulvérisation d'eau	137
Installations avec chargement/déchargement de camions-citernes plus de 2 fois par semaine		Tuyau sur dévidoir	143
		2 extincteurs à poudre de 9 kg	144
		Alimentation en eau	127
		Moyens de protection supplémentaires	139

*Moyens portatifs ou mobiles*

142. Il convient de prévoir, dans les dépôts de GPL, une dotation suffisante en moyens appropriés, portatifs ou mobiles, de lutte contre l'incendie, moyens choisis et disposés sur les lieux de façon qu'il soit possible d'éteindre les incendies qui se déclareraient près des réservoirs et d'empêcher qu'ils ne se propagent et ne mettent les installations en péril. A cet effet, on pourra prévoir des extincteurs, des dévidoirs à tuyau ou une combinaison de ces deux moyens. Les extincteurs devraient être choisis (type et capacité), disposés et entretenus conformément aux normes applicables;

les dévidoirs à tuyau devraient être choisis et installés de même.

143. Toutes les installations de stockage de GPL devraient être équipées d'au moins un dévidoir à tuyau de diamètre normalisé. Dans les installations d'une capacité de 2 500 litres (1,1 t) ou moins, on pourra prévoir à la place deux extincteurs à eau de 9 litres. (Il n'y a pas lieu de placer des dévidoirs ou des extincteurs dans les installations domestiques, où il ne se trouve pas de personnes formées pour les utiliser.)

144. En plus du matériel visé aux paragraphes 142 et 143, il faut prévoir au moins deux extincteurs d'un type efficace contre les feux de GPL (voir paragraphe 146), des extincteurs à poudre d'une capacité d'au moins 9 kg convenant en principe. (Il n'y a pas lieu de doter les installations domestiques et les petites installations commerciales d'extincteurs à poudre s'il est improbable qu'il y ait sur place des personnes formées à la lutte contre les feux de GPL.)

### **Accès**

145. Il convient d'aménager, en direction et autour des installations de stockage de GPL, des voies d'accès pour la lutte contre l'incendie et de les maintenir toujours dégagées.

### **Instruction et entraînement à la lutte contre l'incendie**

146. Le personnel des dépôts de GPL devrait recevoir une instruction et un entraînement appropriés concernant les précautions à observer contre l'incendie et les mesures à prendre en cas d'incendie ou de fuite de GPL, conformément à la mission qui lui incomberait dans une situation critique. Les personnes formées à la lutte contre les feux de GPL devraient être rendues attentives au fait qu'il est essentiel de pouvoir couper l'arrivée de GPL. Dans les installations commerciales et industrielles, des avis indiquant les mesures à prendre en cas d'accident devraient être placardés bien en vue à proximité des points de stockage. Pour les installations domestiques, les utilisateurs devraient recevoir des instructions détaillées indiquant elles aussi ces mesures.

## **Postes de chargement et de déchargement**

### **Généralités**

147. Il convient d'établir des instructions écrites qui définissent clairement les tâches de toutes les personnes affectées aux opérations de chargement et de déchargement de GPL.

148. Les effectifs requis pour les opérations de chargement et de déchargement de GPL dépendent de l'importance et de la complexité de l'installation. En règle générale, la sécurité exige la présence

d'au moins deux personnes. Dans de nombreux dépôts, ces deux personnes seront le conducteur du camion-citerne et un travailleur du dépôt. Dans certains cas, notamment dans les installations domestiques et dans les installations industrielles ou commerciales peu importantes, cette règle n'est pas applicable, le conducteur étant la seule personne présente.

149. Sauf dans les cas évoqués au paragraphe 148, un préposé de l'installation devrait s'assurer que le réservoir ou le véhicule-citerne qui doit recevoir le GPL peut recevoir le type de GPL et la quantité à transvaser. Il convient de contrôler le niveau de remplissage avant l'opération et pendant le remplissage à l'aide du dispositif de jauge (s'il y en a un). L'indicateur de niveau maximal permet d'éviter de trop remplir le réservoir ou la citerne. Il est souhaitable de contrôler en outre le poids des camions ou des wagons-citernes sur un pont-bascule avant leur départ pour s'assurer qu'ils ne sont pas trop remplis. On se reportera, pour les règles de remplissage, aux normes ou aux prescriptions applicables.

150. Le surremplissage peut avoir des conséquences extrêmement graves. Lorsqu'un véhicule-citerne ou un réservoir de stockage est trop rempli, il faut retirer immédiatement l'excès de GPL en observant toutes les précautions nécessaires.

151. Le secteur de transvasement, où s'effectuent le branchement et le débranchement des tuyauteries, devrait se trouver dans une zone bien aérée.

152. Les tuyauteries flexibles utilisées pour le chargement ou le déchargement de GPL entre un véhicule-citerne et un réservoir ou une tuyauterie fixe devraient répondre aux exigences suivantes.

Les tuyauteries devraient être conçues et fabriquées conformément à une norme appropriée.

Elles devraient être munies d'un moyen ou d'une marque d'identification.

Elles devraient être examinées avant chaque utilisation (absence de coques et de signes d'usure), de même que les raccords.

Elles devraient être soumises à une épreuve hydraulique une fois par année.

La continuité électrique des tuyauteries devrait être contrôlée périodiquement.

Les épreuves et les contrôles visés ci-dessus devraient être attestés par un certificat.

Les tuyauteries devraient être rangées, lorsqu'elles ne sont pas utilisées ou lorsqu'elles se trouvent à bord d'un véhicule, de façon à ne pas subir de dommages mécaniques ou de détériorations dues aux conditions climatiques.

Les raccords d'extrémité devraient être protégés contre les risques de détérioration ou de pénétration de matières étrangères.

Les tuyauteries devraient être protégées au besoin par une spirale métallique ou par une gaine similaire contre les risques extérieurs de détérioration.

Elles devraient être remplacées ou réparées en cas de détérioration ou d'usure.

153. Les tuyauteries flexibles et les bras articulés dans lesquels il risque de rester du GPL entre deux robinets d'isolement devraient être protégés contre le risque de surpression dû à la dilatation du contenu par leur conception ou par un dispositif tel qu'une soupape hydrostatique.

### **Chargement et déchargement des camions-citernes**

154. Pour les opérations de chargement et de déchargement, les camions-citernes devraient se trouver sur une aire à peu près horizontale, de façon à réduire au minimum le risque de déplacement accidentel du véhicule. Avant de commencer le chargement ou le déchargement, il convient d'immobiliser le véhicule en calant les roues ou par d'autres moyens; les cales ne devraient être retirées qu'à la fin de l'opération. Le sol sous le camion-citerne devrait comporter un écoulement ou présenter un léger bombement ou une légère pente vers un endroit approprié pour éviter, en cas de débordement, que du GPL ne reste sous le véhicule ou ne s'écoule sous des réservoirs ou des tuyauteries de l'installation.

155. Il ne faut procéder au chargement ou au déchargement que lorsqu'il est possible de le faire en toute sécurité. Le secteur de chargement ou de déchargement devrait être si possible à l'abri du passage et de la circulation. S'il faut craindre le

passage de véhicules ou de personnes, il convient de poser au besoin des barrières pour les empêcher de s'approcher.

156. Dans les installations comportant des réservoirs d'une capacité de 9 000 litres (4 t) ou davantage, il convient d'étudier la mise en place de dispositifs de protection en cas de démarrage inopiné des camions-citernes. On peut envisager les moyens suivants:

- raccord à fermeture automatique en cas de détachement involontaire monté sur la tuyauterie flexible;
- robinets de sécurité avec dispositif de fermeture automatique sur l'installation fixe et sur le camion-citerne;
- dispositif mécanique d'immobilisation ou système analogue avec verrouillage sur le véhicule ou sur l'installation fixe;
- dispositif actionnant automatiquement les freins du véhicule dès que le tuyau de chargement/déchargement de celui-ci est enlevé de l'emplacement où il est normalement rangé pendant les trajets, jusqu'au moment où il y est remis;
- dispositif interdisant l'accès au raccord de la citerne du véhicule, dont l'ouverture actionne les freins.

157. Lorsqu'il faut faire tourner le moteur du camion-citerne pendant le chargement ou le déchargement, généralement pour entraîner une pompe, il convient d'installer un dispositif de sécurité permettant de couper le contact du moteur de l'extérieur de la cabine de conduite.

158. Pour les opérations de déchargement, le camion-citerne devrait être garé à l'écart de la chaussée, dans une position telle qu'il puisse repartir rapidement en cas d'incident s'il peut le faire sans risque. Le chauffeur devrait pouvoir voir le camion depuis l'emplacement du réservoir de stockage. Il devrait avoir la possibilité, de cet emplacement, d'arrêter immédiatement le déchargement quand le réservoir est plein.

159. Il se peut qu'il ne soit pas possible de garer le camion-citerne à l'écart de la chaussée pour le remplissage de certaines installations, par exemple les installations domestiques. En pareil cas, il



convient d'observer les prescriptions du code de la route et de veiller à ce que le camion ne gêne pas la circulation.

160. On évitera de disposer des tuyauteries flexibles sur les trottoirs ou sur des passages publics, à moins qu'il n'y ait pas d'autre solution et que cela ne présente pas de risques importants pour les gens. En pareil cas, il convient, avant et pendant le déchargement, de placer des panneaux d'avertissement lisibles à une distance de 6 m de part et d'autre de la tuyauterie. Les panneaux devraient porter la mise en garde suivante ou une indication analogue:

Attention! Transvasement de gaz de pétrole liquéfié!

Défense de fumer et d'utiliser des feux nus.

161. L'électricité statique accumulée sur les camions-citernes devrait être déchargée par mise à la terre. Avant toute opération de chargement ou de déchargement, la citerne des camions devrait être reliée électriquement par un conducteur souple à l'installation fixe. La liaison équipotentielle ne devrait être interrompue qu'après le débranchement de la tuyauterie de GPL et, le cas échéant, de la tuyauterie d'équilibrage de la phase vapeur.

### **Chargement et déchargement des wagons-citernes**

162. Les postes de chargement et de déchargement des wagons-citernes devraient être établis à l'écart du trafic ferroviaire, par exemple sur un embranchement. Le secteur de transvasement devrait être situé dans une zone bien aérée, à une distance d'au moins 15 m des bâtiments, des limites du dépôt de GPL, des sources d'inflammation et de tout réservoir de stockage faisant partie du dépôt.

163. Pour prévenir le risque de déplacement accidentel des wagons-citernes, la voie devrait être pratiquement horizontale. Une légère déclivité – de moins de 1:250 – est tolérable, à condition que la voie descende dans la direction opposée à celle de la voie ferrée principale ou, dans le cas d'un embranchement terminé par un butoir, dans la direction du butoir.

164. Les wagons-citernes contenant des GPL ne devraient pas être manœuvrés sans être attelés.

165. Aux endroits où les wagons-citernes pourraient être endommagés par des véhicules routiers, par exemple sur un embranchement longé par une route, on devrait installer des barrières de sécurité.

166. Il convient de prévenir tout mouvement des rames ou des convois comprenant des wagons-citernes, alors qu'un wagon-citerne se trouve branché sur l'installation fixe, au moyen d'une barrière et par d'autres dispositions appropriées, telles que:

- le dételage de la locomotive;
- le dételage du câble de traction ou la mise hors tension du cabestan de manœuvre;
- le blocage des aiguillages;
- le serrage des freins à main des wagons.

Le fonctionnement des pompes, des robinets d'isolement, etc., peut être rendu dépendant d'un système de verrouillage qui garantisse que le convoi ou la rame se trouve en position correcte avant le début des opérations de chargement ou de déchargement. Un dispositif de signalisation peut être installé pour assurer une sécurité supplémentaire.

167. Il convient d'instituer un système d'autorisations de travail pour empêcher que les wagons-citernes ne soient déplacés sans que le personnel préposé, dans l'installation, aux opérations de chargement ou de déchargement soit informé et ait donné son accord. Les arrivées et les départs de convois ou de rames au poste de chargement ou de déchargement devraient être contrôlés, s'il y a lieu, par une procédure écrite. Pour les manœuvres des wagons-citernes, il importe d'assurer une coopération étroite entre le mécanicien de la locomotive et le personnel du dépôt. Que les manœuvres soient effectuées par les chemins de fer nationaux ou par l'entreprise dont relève le dépôt, à l'aide de sa propre locomotive, il convient d'instituer un système d'autorisations pour le déplacement des wagons-citernes.

168. A l'emplacement des wagons-citernes, le sol devrait comporter un écoulement ou présenter un léger bombement ou une légère pente pour éviter, en cas de débordement, que du GPL ne reste sous le wagon ou ne s'écoule et ne s'accumule sous

un autre wagon ou sous des réservoirs ou des tuyauteries de l'installation.

169. Le poste de chargement ou de déchargement devrait être équipé de robinets d'isolement à commande à distance. Dans les installations comportant plusieurs dérives pour le chargement ou le déchargement de GPL, chacune devrait être munie en outre d'un robinet manuel. Ces robinets devraient être pourvus chacun de leur propre clé ou levier de manœuvre de façon à pouvoir être rapidement fermés en cas d'urgence. Pour les tuyauteries en phase vapeur, il faut également étudier l'installation de dispositifs de sécurité tels que des robinets à commande à distance. Dans les installations comportant plusieurs dérives sur une tuyauterie commune, il convient de munir celles-ci de clapets antiretour pour empêcher tout reflux de GPL dans les wagons-citernes pendant les opérations de déchargement.

170. Il convient d'assurer une protection supplémentaire en cas de déplacement intempestif des wagons, par exemple à l'aide de raccords à fermeture automatique en cas de détachement involontaire, de robinets d'isolement avec dispositif de fermeture automatique ou par d'autres moyens offrant une protection équivalente.

171. Il faut veiller à ne pas trop remplir les wagons-citernes. Pour cela, il convient de limiter au besoin le nombre des wagons-citernes surveillés par un seul ouvrier et de pouvoir mesurer le volume transvasé. On peut aussi, pour le chargement, placer les wagons-citernes sur un pont-bascule pourvu d'un dispositif commandant l'arrêt du chargement au poids correspondant à la quantité voulue.

### **Mise en service, mise hors service**

172. Les réservoirs de GPL devraient être mis en service et hors service par des personnes informées des risques que présentent les GPL et parfaitement au courant de la procédure à suivre.

#### **Mise en service**

173. Avant remplissage, les réservoirs de GPL, la robinetterie et l'équipement connexe devraient être contrôlés; on devrait s'assurer qu'ils sont parfaitement étanches et en état d'être mis en service. Pour détecter les fuites, on peut remplir les

réservoirs d'air ou d'un gaz inerte sous pression et vérifier s'il y a une chute de pression. Sur les méthodes d'épreuve sous pression, on se reportera à la documentation ou aux prescriptions disponibles.

174. Lors des épreuves sous pression et des purges, les réservoirs ne devraient pas être soumis à des pressions, à des vides ou à des températures qui dépassent les valeurs pour lesquelles ils ont été conçus.

175. Avant leur mise en service, les réservoirs et l'équipement connexe devraient être purgés de façon à ramener la quantité d'oxygène à l'intérieur à un niveau qui ne permette pas de combustion. On devrait éliminer l'air en remplissant les réservoirs d'eau, d'un gaz inerte ou de GPL ou en le pompant.

176. Si l'on utilise de l'eau pour chasser l'air, le réservoir et ses supports devraient être capables de résister au poids de celle-ci lorsque le réservoir est complètement rempli. Il faut également veiller à enlever toute l'eau après la purge.

177. Si l'on utilise un gaz inerte pour purger les réservoirs, il faut éliminer le gaz avec le GPL. Le mélange gaz purgeant/GPL devrait être évacué par un évent vers un endroit sûr, loin des réservoirs de GPL, des limites du dépôt, des bâtiments, des lieux accessibles au public et des sources d'inflammation, ou être capté et conduit vers une torchère. La distance de sécurité à observer par rapport aux limites du dépôt, aux réservoirs de GPL, etc., dépend du débit du mélange purgé, conformément aux critères suivants:

- a) si le mélange gaz/GPL prend feu, le rayonnement thermique aux limites du dépôt ou à l'emplacement des réservoirs de GPL ne doit pas dépasser  $12,6 \text{ kW/m}^2$ ;
- b) si le mélange ne s'enflamme pas, il doit pouvoir se diluer et tomber au-dessous de la limite inférieure d'inflammabilité avant d'atteindre les limites du dépôt, des bâtiments ou des sources d'inflammation.

178. Si l'on utilise du GPL en phase vapeur pour purger l'air, les réservoirs et l'équipement connexe renfermeront pendant un certain temps un mélange inflammable qu'il convient d'évacuer dans l'atmosphère en prévenant tout risque. La tuyauterie d'évent devrait être équipée d'un coupe-flamme

pour empêcher un retour de flamme en cas d'inflammation du mélange gazeux évacué. Cette opération devrait s'effectuer sous la surveillance d'une personne compétente.

179. Il ne convient de purger les réservoirs de l'air qu'ils contiennent par pompage que s'il s'agit de réservoirs conçus pour supporter une mise sous vide.

### Mise hors service

180. Les installations qui doivent être mises hors service et purgées de tout GPL devraient être isolées de tout autre système, installation ou réservoir contenant du GPL. On le fait en principe en démontant des sections de tuyauterie et en posant des brides pleines. La fermeture des robinets d'isolement ne suffit pas pour isoler une installation.

181. Avant d'ouvrir un réservoir, il convient:

- a) de le vider autant que possible de son contenu en utilisant normalement le GPL qu'il renferme, en transvasant celui-ci dans un autre réservoir ou en l'évacuant par une torchère ou un dispositif d'évent. Lorsqu'une ligne de purge est utilisée pour la vidange, elle devrait satisfaire aux dispositions du paragraphe 66. S'il faut évacuer du GPL dans l'atmosphère par un dispositif d'évent, seule une quantité minimale devrait être ainsi évacuée;
- b) de purger le réservoir à l'aide d'un gaz inerte jusqu'à ce qu'il renferme moins de 4 pour cent de GPL et que la concentration reste à ce niveau ou proche de ce niveau, le réservoir ne contenant plus de résidus dégageant des vapeurs inflammables;
- c) de purger le réservoir à l'eau ou par une autre méthode appropriée; il faut veiller à ce que le réservoir ne contienne plus de résidus susceptibles d'entraîner la formation d'une atmosphère inflammable lors de l'introduction d'air.

### Entretien et inspection

182. Les installations devraient être convenablement entretenues sous le contrôle d'un ingénieur spécialisé, conformément aux normes d'entretien fixées par celui-ci, de façon à satisfaire

toujours aux valeurs limites fixées pour les paramètres d'exploitation. L'attention devrait porter avant tout sur les éléments et les dispositions dont dépendent la sûreté mécanique des installations, d'une part, et les possibilités d'intervention en cas d'incident ou d'accident, d'autre part. Pour les installations cédées en location par l'entreprise qui fournit le gaz, l'entretien sera assuré le cas échéant par l'entreprise propriétaire.

183. Il convient de préparer, pour l'ensemble de l'installation (y compris les dispositifs de sécurité et les instruments de mesure), un plan d'entretien dont la forme et les dispositions devraient répondre aux exigences de l'installation. Pour des installations simples, un manuel d'entretien peut être suffisant.

184. Il convient d'établir un système de registres qui permette de suivre exactement tous les programmes d'entretien. Toutes les interventions importantes – réparations, remplacement de pièces ou d'éléments – devraient être consignées.

185. Un programme d'inspection des installations devrait être élaboré par une personne compétente ou adopté sous son autorité. Le programme devrait être revu après chaque inspection. Les réservoirs devraient être inspectés aux intervalles fixés par la personne compétente. Les vaporiseurs à chauffage direct devraient être inspectés à fond à des intervalles ne dépassant pas une année.

186. L'étendue de chaque inspection et les méthodes d'inspection à appliquer devraient être décidées par la personne compétente. L'inspection des réservoirs et des appareils sous pression devrait porter également sur la structure porteuse, le système d'ancrage et les fondations.

187. L'inspection des réservoirs enterrés et des réservoirs sous butte devrait comprendre un contrôle de la corrosion, par exemple grâce à un contrôle détaillé de l'épaisseur de l'enveloppe aux ultrasons. S'il n'est pas possible d'accéder à l'intérieur, il faudra dégager la surface extérieure des réservoirs pour l'examiner.

188. Les tuyauteries en phase liquide posées dans des tranchées remblayées devraient être inspectées au moins une fois tous les dix ans pour la corrosion ou être soumises à une épreuve qui permette d'en contrôler l'étanchéité.

189. Toutes les détériorations ou défauts importants décelés et toutes les réparations effectuées devraient être consignées dans le rapport d'inspection, avec l'indication des méthodes d'inspection utilisées. Les effets de toute détérioration, défaut ou réparation devraient être évalués par la personne compétente, qui devrait s'il y a lieu modifier en conséquence les valeurs limites des paramètres d'exploitation.

190. Le rapport d'inspection devrait préciser:

- a) la pression maximale de service;
- b) la pression minimale de service;
- c) la température minimale de service;
- d) la charge maximale admissible (sur les supports);
- e) la date de la prochaine inspection.

191. Les réparations ou les modifications devraient satisfaire à des exigences au moins équivalentes à celles des normes originales de construction. Lorsqu'une réparation ou une modification peut avoir des répercussions sur la résistance de l'installation, elle devrait être contrôlée et homologuée par une personne compétente, qui devrait s'il y a lieu modifier en conséquence les valeurs limites des paramètres d'exploitation.

## Consignes d'exploitation

192. Il convient d'établir des consignes d'exploitation écrites qui définissent clairement les tâches ou les fonctions du personnel. Ces consignes devraient porter à la fois sur l'exploitation normale et sur les dispositions à prendre en cas de situation critique. Elles devraient être régulièrement revues de façon à être toujours adaptées à la situation et être modifiées le cas échéant en cas de transformation des installations. Les consignes devraient être faciles à consulter et être si possible affichées bien en vue. On en remettra s'il y a lieu un exemplaire ou un résumé au personnel de l'installation ainsi qu'au personnel extérieur amené à y pénétrer ou à y travailler.

193. Les instructions devraient porter notamment sur les points suivants:

- a) déchargement ou chargement des GPL dans le dépôt (réception dans le dépôt ou sortie du

dépôt) (des listes de contrôle peuvent être un complément utile des consignes);

- b) déchargement des GPL dans d'autres installations alimentées par des camions-citernes à partir du dépôt;
- c) systèmes d'autorisations de travail;
- d) entretien et modification des installations, y compris l'entretien du matériel électrique protégé;
- e) mesures à prendre en cas d'incident ou d'accident.

194. Le personnel salarié, comme le personnel indépendant, devrait agir uniquement dans les limites de sa compétence. Toute mesure s'écartant des consignes écrites devrait être autorisée au préalable par écrit par la personne compétente du dépôt.

195. Il convient de prendre des précautions particulières lors de la purge de réservoirs en service afin de limiter le plus possible le dégagement de GPL. Des deux robinets de la ligne de purge, on ouvrira complètement en premier lieu celui qui se trouve le plus près du réservoir, après quoi on contrôlera la purge en ouvrant graduellement le deuxième robinet. S'il n'y a pas d'écoulement à l'ouverture de celui-ci, les deux robinets devraient être immédiatement refermés, et la cause de l'obstruction recherchée. Après la purge, c'est le robinet le plus éloigné du réservoir de stockage qu'il faut fermer le premier, et ensuite l'autre.

## Formation

196. Les employeurs devraient veiller à ce que le personnel d'exploitation connaisse les propriétés des GPL et les risques qu'ils présentent. Les travailleurs devraient recevoir une instruction sur les opérations normales d'exploitation, notamment les opérations de chargement et de déchargement, comme sur les mesures à prendre en cas d'incident ou d'accident, la lutte contre l'incendie et les procédures d'arrêt d'urgence. L'instruction devrait être suivie de périodes de formation pratique, le but étant que chaque travailleur connaisse l'installation et les procédures d'exploitation et soit apte à remplir correctement sa tâche. La formation devrait avoir un caractère continu et comprendre, s'il y a

lieu, des cours d'entretien des connaissances. Un exercice d'entraînement devrait être organisé au moins une fois par an (sauf dans les installations domestiques) pour familiariser le personnel avec les mesures à prendre en cas d'accident.

197. Toutes les opérations d'exploitation des installations de GPL devraient être effectuées par du personnel convenablement formé. Un nombre suffisant de personnes devraient être désignées et

formées pour surveiller les méthodes de travail et les opérations.

198. Le personnel d'exploitation devrait être informé de toutes modifications des installations et de tous changements dans les méthodes d'exploitation; il devrait recevoir la formation supplémentaire nécessaire pour assurer la sécurité d'exploitation.

## Bibliographie

[Seules ont été conservées ici les références principales d'intérêt général.]

### Dispositions législatives et réglementaires (Royaume-Uni)

#### Recueils de directives pratiques de la Liquefied Petroleum Gas Industry Technical Association (Londres)

Code of practice n° 1, mars 1978: *Installation and maintenance of bulk LPG storage at consumers' premises* (ISBN 0 900323 9).

Code of practice n° 22: *LPG piping-system design and installation*

#### Publications de la Direction de la santé et de la sécurité au travail (Health and Safety Executive, Royaume-Uni)

Health and Safety Series booklet HS(G)22: *Electrical apparatus for use in potentially explosive atmospheres* (ISBN 0 11 883746 X).

HSE Guidance Note CS4, juin 1986: *The keeping of LPG in cylinders and similar containers* (ISBN 0 11 883539 4).

HSE Guidance Note CS8, mai 1985: *Small scale storage and display of LPG at retail premises* (ISBN 0 11 883614 5).

Normes britanniques (British Standards Institution, Royaume-Uni)

BS 1710, 1984: *Specification for identification of pipelines and services.*

BS 3351, 1971: *Piping systems for petroleum refineries and petrochemical plants.*

BS 4089, 1966: *Rubber hose and hose assemblies for liquefied petroleum gas lines.*

BS 4250, 1975: *Specification for commercial butane and propane.*

BS 5146: *Inspection and test of valves. Part 1, 1974: Steel valves for petroleum, petrochemical and allied industries.*

BS 5306: *Code of practice for fire extinguishing installations and equipments on premises. Part 1, 1976: Hydrant systems, hose reels and foam inlets. Part 3, 1985: Selection, installation and maintenance of portable fire extinguishers.*

BS 5355, 1976: *Specification for filling ratios and developed pressures for liquefiable and permanent gases.*

BS 5500, 1985: *Unfired fusion welded pressure vessels.*

BS 6759, Part 3, 1984: *Specification for safety valves for process fluids.*

#### Normes de l'Institut américain du pétrole (American Petroleum Institute, Etats-Unis)

API 520: *Recommended practice for the design and installation of pressure relieving systems in refineries. Part 1: Design. Part 2: Installation.*

API 2000: *Venting atmospheric and low pressure storage tanks (non-refrigerated and refrigerated).*

#### Normes nationales américaines (American National Standards Institute, Etats-Unis)

ANSI B31.3: *Chemical plant and petroleum refinery piping*, avec les addenda ultérieurs.

#### Références complémentaires pour l'édition française

*Règles d'aménagement et d'exploitation des dépôts d'hydrocarbures liquides de première et de deuxième classe (de capacité fictive globale au plus égale à 1000 m<sup>3</sup>).*

*Règles d'aménagement et d'exploitation des dépôts d'hydrocarbures liquides de première et de deuxième classe (de capacité fictive globale de plus de 1000 m<sup>3</sup>).*

*Règles d'aménagement et d'exploitation des dépôts d'hydrocarbures liquéfiés (catégorie A2) de première et de deuxième classe (à l'exception de ceux sans transvasement d'une capacité au plus égale à 70 m<sup>3</sup>).*

*Règles d'aménagement et d'exploitation des dépôts d'hydrocarbures liquéfiés de deuxième classe (sans transvasement d'une capacité au plus égale à 70 m<sup>3</sup>).*

Documents établis par la Commission de sécurité des établissements pétroliers, diffusés par le Comité professionnel du pétrole, Paris.

## Note annexe. Protection des réservoirs contre la mise en dépression

### Généralités

1. Pendant des périodes prolongées de froid, il est possible que la température du contenu des réservoirs tombe au-dessous de 0°C. Pour certains produits, notamment le butane commercial, cela entraîne une baisse de la pression de vapeur à l'intérieur du réservoir au-dessous de la pression atmosphérique. Si le réservoir n'a pas été conçu pour être utilisé sous vide, cette baisse risque d'entraîner une rupture du réservoir.

### Conception des réservoirs

2. Comme l'indique le paragraphe 38 de ce guide, la conception des réservoirs à butane devrait répondre aux critères suivants:

Pression maximale de service	4,83 bar (pression relative)
Pression minimale de service	480 mbar (pression absolue)
Température minimale de service	-18°C

Il convient, soit de concevoir les réservoirs pour qu'ils puissent résister à une mise en dépression, soit de prendre des dispositions pour empêcher le phénomène. Si l'étude des conditions météorologiques locales montre qu'il ne se produit pas de période prolongée de froid, on pourra se dispenser de prendre des précautions pour protéger les réservoirs.

### Moyens de prévenir la formation d'un vide

3. La formation d'un vide dans les réservoirs peut être empêchée par différents moyens.

#### A. Circulation de gaz vaporisé chaud

On peut assurer une circulation de gaz vaporisé chaud à partir d'un vaporiseur dans la phase vapeur du réservoir pour maintenir la pression requise.

Il convient cependant d'observer les précautions indiquées ci-après:

- Le vaporiseur devrait avoir une puissance suffisante pour maintenir la pression dans le

réservoir au-dessus de la pression minimale de service alors même qu'il doit fournir le débit maximal requis par l'installation qu'il alimente.

- Il convient d'installer un dispositif de régulation du débit de gaz vaporisé pour maintenir la pression nécessaire dans le réservoir. Ce dispositif peut être un régulateur automatique d'une capacité suffisante ou, lorsqu'une surveillance constante est assurée, un robinet à commande manuelle. Il convient de prévoir, au régulateur, un circuit de dérivation avec robinet à commande manuelle qui permette d'intervenir en cas de non-fonctionnement du régulateur.
- Il convient d'installer un dispositif d'alarme automatique en cas d'élévation ou de baisse anormale de la pression.

#### B. Pressurisation au gaz propane

On peut établir une liaison entre la phase vapeur du réservoir de butane et la phase vapeur d'un réservoir ou de bouteilles de propane.

Il convient cependant d'observer les précautions indiquées ci-après:

- Le réservoir ou les bouteilles de propane devraient être disposés conformément aux recommandations de ce guide.
- Il convient d'installer un régulateur de pression d'une capacité suffisante pour régler le débit de propane de façon à maintenir la pression requise.
- Il convient d'installer, entre les deux réservoirs ou entre le réservoir de butane et les bouteilles de propane, une tuyauterie et une robinetterie permanentes, conçues pour le propane et posées sur des supports appropriés. Il ne faut pas employer des tuyauteries flexibles, sauf en cas d'utilisation de bouteilles de propane, pour relier les bouteilles au collecteur (à l'aide de flexibles métalliques courts).
- La tuyauterie devrait être installée de façon à empêcher toute arrivée de propane liquide dans le réservoir de butane.
- Il convient d'installer un dispositif d'alarme automatique en cas d'élévation ou de baisse anormale de la pression.

- Il convient de contrôler régulièrement la quantité de propane dans le réservoir pour s'assurer qu'il y a toujours une réserve suffisante. Lorsqu'on utilise des bouteilles, il n'est pas toujours possible de contrôler leur contenu; il convient alors de prévoir un système qui passe automatiquement sur des bouteilles pleines lorsqu'il y a lieu.

#### *C. Modification de la composition du produit*

Dans certains cas, la composition ordinaire du butane peut être modifiée, d'accord avec le fournisseur, de façon que la pression de vapeur à la température minimale de service se situe au-dessus de la pression minimale de service du réservoir. Le fournisseur et l'utilisateur devraient convenir de la composition par écrit. L'installation devrait pouvoir résister à la pression de vapeur maximale du mélange de GPL à la température de référence du réservoir.

#### *D. Installation de soupapes casse-vide*

Ces soupapes empêchent la formation d'un vide, mais peuvent causer de nombreux problèmes d'exploitation et de sécurité. Elles ne devraient être utilisées qu'en cas d'urgence. On consultera à ce sujet les fournisseurs de GPL.

#### *E. Pressurisation à l'aide d'un gaz inerte*

On peut introduire un gaz inerte dans la phase vapeur du réservoir, mais cela peut entraîner des

problèmes d'exploitation, le gaz ne se condensant pas. On consultera ici aussi les fournisseurs de GPL.

#### **Dispositifs d'alarme en cas d'élévation ou de baisse anormale de la pression**

4. Les capteurs manométriques des dispositifs d'alarme devraient contrôler la pression de vapeur dans le réservoir. Des capteurs installés dans la tuyauterie entre le vaporiseur ou la source de gaz propane et le réservoir risquent de ne pas donner une indication correcte de la pression à l'intérieur de celui-ci.

##### *A. Dispositif d'alarme en cas d'élévation anormale de la pression*

Ce dispositif devrait être réglé à une pression inférieure à la pression de réglage de la soupape de sûreté du réservoir et signaler toute élévation anormale de la pression à l'intérieur de celui-ci. Cette fonction peut être remplie le cas échéant par une installation de pulvérisation montée sur le réservoir et déclenchée automatiquement, en même temps qu'un signal sonore, quand la pression atteint une certaine valeur.

##### *B. Dispositif d'alarme en cas de baisse anormale de la pression*

Ce dispositif devrait déclencher l'alarme en cas de baisse anormale de la pression, signe d'une défectuosité du système de régulation de celle-ci. Il devrait être réglé à une pression supérieure à la pression minimale de service du réservoir.



---

## **Annexe 5b**

# **Sécurité dans les installations de manutention et de stockage du chlore en vrac**

Le texte qui suit est la traduction du guide publié par la Direction de la santé et de la sécurité au travail du Royaume-Uni (Health and Safety Executive): *Safety advice for bulk chlorine installations*, Health and Safety Series Booklet HS(G)28 (Londres, Her Majesty's Stationery Office, 1986).



## Table des matières

### Avant-propos

### Introduction

### Implantation des installations

#### Zone de déchargement

Aménagement et emplacement  
Incidents possibles  
Livraison de chlore liquide par camion-citerne  
Livraison de chlore liquide par wagon-citerne  
Systèmes de sûreté  
Plates-formes d'accès aux tuyauteries fixes de transvasement

#### Dispositifs de raccordement des véhicules-citernes aux installations de stockage

Conception et entretien  
Dispositifs de raccordement  
Consignes d'exploitation et d'entretien

#### Tuyauteries pour chlore liquide

Tuyauteries fixes au poste de déchargement  
Tuyauteries de transport  
Spécifications techniques (tuyauteries amenant le chlore liquide aux réservoirs de stockage ou des réservoirs de stockage aux points d'utilisation)  
Protection des tuyauteries

#### Protection contre le risque de surpression

Dispositifs de décompression  
Types de dispositifs  
Disques de rupture  
Réservoirs d'expansion

#### Robinet

Types de robinets  
Robinet à soupape verticale  
Robinet à tournant conique avec gaine en PTFE  
Robinet à tournant sphérique

#### Réservoirs de stockage

Spécifications techniques  
Équipement des réservoirs  
Ligne de remplissage  
Ligne d'exploitation  
Ligne de décharge, ligne d'amenée de gaz comprimé  
Système de décompression  
Instruments de contrôle

#### Protection des réservoirs de stockage contre le risque de surpression

Système de décompression  
Disques de rupture  
Configuration du système de décompression  
Consignes d'exploitation  
Réservoirs d'expansion  
Avertisseurs de pression

#### Inspection et mise en service des installations

Généralités  
Procédure d'inspection

#### Transvasement du chlore liquide des véhicules-citernes dans les installations de stockage

Généralités  
Emploi d'air ou d'azote comprimé  
Emploi de chlore gazeux sous pression

#### Transvasement du chlore des réservoirs de stockage vers les points d'utilisation

Transvasement du chlore liquide  
Transvasement du chlore gazeux  
Précautions  
Transvasement du chlore liquide: procédés

#### Vaporiseurs

Système de chauffage  
Types de vaporiseurs  
Régulation du débit  
Installation  
Sécurité  
Risques  
Isolement des vaporiseurs  
Appareils de réglage de la pression  
Corrosion

#### Système d'absorption

Système collecteur  
Dispositif d'absorption  
Instruments de contrôle et d'alarme  
Élimination des effluents

#### Équipement de protection et matériel d'intervention en cas d'accident

Appareils respiratoires d'usage courant  
Appareils respiratoires pour intervention en cas d'accident  
Vêtements de protection  
Trousses d'outils  
Neutralisation des fuites de chlore

#### Sélection et formation du personnel, consignes d'exploitation

Sélection et formation du personnel  
Consignes d'exploitation

#### Entretien

Système d'autorisations de travail  
Modification des installations

#### Mesures en cas d'accident

Détecteurs-avertisseurs de fuites  
Bornes d'alarme  
Plan d'intervention  
Postes de commandement  
Équipe d'intervention  
Points de rassemblement  
Soins aux victimes

#### Notes annexes

1. Propriétés du chlore
2. Installations à l'air libre et installations intérieures
3. Bibliographie
4. Marche à suivre lors du déchargement de camions-citernes transportant du chlore
5. Aperçu des divers types de vaporiseurs



## Avant-propos

Les recommandations qui suivent ont été élaborées par un groupe de travail réuni sous les auspices du Groupe de l'industrie chimique de la Direction de la santé et de la sécurité au travail du Royaume-Uni (Health and Safety Executive). Elles se fondent sur les directives pour la manutention du chlore en vrac dans les installations de la clientèle publiées en 1980 par l'Association de l'industrie chimique du Royaume-Uni (Chemical Industries Association: *Guidelines for bulk handling of chlorine at customers installations*). Elles devront être mises à jour s'il y a lieu à l'avenir en fonction du progrès des connaissances.

Le groupe de travail était composé de représentants des quatre sociétés productrices de chlore du Royaume-Uni, d'un représentant du Syndicat britannique des travailleurs des transports et d'autres secteurs et de collaborateurs de la Direction de la santé et de la sécurité au travail, la présidence étant assurée par un membre de celle-ci.

Les directives sont applicables à toutes les installations renfermant du chlore en vrac, mais n'ont pas valeur de normes détaillées pour l'aménagement de ces installations. Il se peut que certaines installations existantes ne satisfassent pas présentement à toutes les dispositions et que ces dispositions ne soient pas toutes indiquées dans certains cas. Il appartient à l'exploitant, généralement en consultation avec le fournisseur de chlore ou avec des spécialistes, de juger de leur application dans des cas particuliers. Si des modifications apparaissent nécessaires, il importe qu'une décision réfléchie soit prise au sujet de la nature et de la date des changements à apporter. C'est à l'entreprise qui exploite les installations qu'il incombe en dernier ressort de le faire dans des conditions de sécurité.

La Direction de la santé et de la sécurité au travail remercie les représentants de l'industrie du chlore de leur assistance et de leur concours pour l'élaboration de ces recommandations. Elle remercie aussi l'Association de l'industrie chimique d'avoir autorisé la reproduction d'importantes parties de ses directives de 1980.

## Introduction

1. Cette publication contient des prescriptions de sécurité pour la manutention du chlore liquide en vrac, à l'intention de tous ceux qui reçoivent du chlore liquide par camion-citerne ou wagon-citerne, en vue de réduire le plus possible les risques d'incident dangereux pour le personnel d'exploitation, la population ou les installations lors du déchargement, du stockage et des opérations ultérieures de transvasement, de vaporisation et de mise en œuvre du chlore. Ces prescriptions se fondent sur l'expérience des quatre producteurs de chlore du Royaume-Uni, de leur clientèle et de la Direction de la santé et de la sécurité au travail, ainsi que sur des recommandations publiées dans d'autres pays.

2. Les recommandations portent sur les conditions à satisfaire à tous les stades, de la réception du chlore liquide jusqu'au point d'utilisation, et notamment sur l'implantation, la conception, les essais, l'exploitation et l'entretien des installations et du matériel. Elles exposent aussi les dispositions à prendre en cas d'incident: ou d'accident.

3. L'expérience montre que chaque installation doit être considérée en elle-même et que de nombreux problèmes précis de conception doivent être discutés à fond par les entreprises consommatrices qui exploitent les installations, et les fournisseurs de chlore.

4. Réglementation applicable au Royaume-Uni: déclaration des installations.

5. Réglementation applicable au Royaume-Uni: déclaration des installations.

6. Réglementation applicable au Royaume-Uni: diagnostic des risques d'accident majeur, notification des accidents majeurs, rapports de sécurité, plans d'intervention en cas d'accident, information de la population exposée.

7. Dispositions applicables au Royaume-Uni: autorisation pour l'étude d'installations nouvelles, dossiers techniques.

[Les références faites ici et ailleurs dans le guide aux dispositions législatives et réglementaires ou aux normes en vigueur au Royaume-Uni n'ont pas été traduites.]

## Implantation des installations

8. Les observations qui suivent portent sur les principes généraux d'implantation des installations. On évoquera d'autres facteurs particuliers à prendre en considération le cas échéant dans les sections traitant des opérations de déchargement et des mesures à prendre en cas d'incident, cas où la facilité d'accès est primordiale.

9. Il importe de tenir dûment compte des conditions imposées par l'autorité compétente lors de la délivrance de l'autorisation de mise à l'étude des installations. Pour les nouvelles installations, l'autorité locale devrait s'assurer que le plan d'ensemble ne pose pas, pour l'avenir, de problèmes liés à l'urbanisation des zones voisines et à l'augmentation de la densité de la population, ou encore à l'implantation d'autres installations dangereuses à proximité. Lorsqu'il existe de tels risques, les services de santé et de sécurité au travail pourront recommander l'application des normes les plus strictes.

10. Il n'est pas possible de limiter la densité de la population présente autour des installations existantes. On peut toutefois exercer un contrôle sur les projets qui entraîneraient une augmentation de la population dans le voisinage. L'autorité locale ne devrait accorder les autorisations qu'après étude détaillée et, en principe, consultation des services de santé et de sécurité au travail.

11. L'implantation d'installations nouvelles devrait être étudiée compte tenu des risques d'inondation ou de mouvement de terrain, comme des risques d'incendie ou d'explosion dans les installations ou les usines situées à proximité. Elles devraient être implantées à une distance suffisante (au moins 25 m) des voies publiques et des lignes de chemins de fer, de façon à réduire les risques de dégâts aux installations en cas d'accident; au besoin, il convient d'aménager des barrières de protection.

12. Les installations devraient être entourées d'une clôture appropriée et être dotées d'un service de gardiennage pour prévenir l'accès de personnes non autorisées.

13. Les risques qu'entraîneraient les accidents d'avion peuvent en principe être considérés comme minimes; le degré de probabilité est trop faible pour

qu'il y ait lieu de prendre des dispositions spéciales. Toutefois, dans certains cas exceptionnels, il conviendra d'en tenir compte au besoin, par exemple dans des installations situées dans l'axe d'une piste d'aéroport ou près d'un terrain d'aviation utilisé pour des vols d'entraînement.

14. Les installations devraient être implantées de préférence à l'air libre. Dans certains cas, cependant, il est peut-être indiqué de les loger dans un bâtiment. Pour prendre une décision à ce sujet, il importe de pondérer tous les facteurs en jeu (voir note annexe 2).

## Zone de déchargement

### Aménagement et emplacement

15. Afin de prévenir autant que possible le risque de fuite lors du transvasement du chlore liquide des véhicules-citernes aux réservoirs de stockage, il convient d'étudier avec beaucoup de soin l'emplacement et l'aménagement des installations de déchargement, comme la procédure de déchargement.

16. Le sol, dans la zone de déchargement, devrait être pratiquement horizontal. La zone devrait être entourée d'un espace libre suffisant, permettant un accès facile de différents points. Il convient d'aménager un éclairage approprié de toutes les voies d'évacuation; il peut être indiqué de prévoir un éclairage de secours.

17. Il convient d'installer un nombre suffisant de dispositifs d'alarme à actionnement manuel pour pouvoir donner l'alerte en cas de fuite de chlore. On trouvera de plus amples dispositions sur les mesures à prendre en cas d'accident aux paragraphes 247 à 263.

18. Le point de déchargement devrait de préférence être proche de l'installation de stockage, mais pas à moins de 5 m. Toutefois, si l'installation est protégée par une barrière, des butoirs ou d'autres moyens analogues contre le risque de heurt par les véhicules-citernes, cette distance peut être réduite. Le point de déchargement devrait se trouver aussi à une distance suffisante de toute installation où il existe un risque d'incendie ou d'explosion.

19. Il peut être indiqué d'installer un robinet à fermeture télécommandée sur la tuyauterie alimentant les réservoirs de stockage.

20. Il convient d'envisager les répercussions qu'un rejet de chlore aurait dans la zone avoisinante, en tenant compte de la direction des vents dominants, de l'emplacement des prises d'air de ventilation, de l'emplacement des postes de commande et de la présence de gens dans la zone.

### Incidents possibles

21. Il convient d'envisager les incidents suivants, pouvant entraîner un rejet de chlore:

- a) endommagement des tuyauteries de chlore par le véhicule-citerne lorsque celui-ci arrive au poste de déchargement ou le quitte; il faut prévoir un dégagement suffisant autour du capot de la robinetterie du véhicule (dôme protecteur) lorsqu'il est ouvert;
- b) déplacement du véhicule-citerne pendant le transvasement; ainsi, le mouvement ascendant de la citerne provoqué par l'action de la suspension en conséquence de l'allègement du véhicule peut endommager la tuyauterie de transvasement si les raccords ne laissent pas un jeu suffisant;
- c) endommagement du véhicule-citerne, du réservoir de stockage ou de la tuyauterie de transvasement sous l'effet d'un heurt par un autre véhicule ou d'un déplacement du véhicule-citerne (freins mal serrés, cales mal placées, manœuvre négligente du conducteur);
- d) fausses manœuvres dans la procédure de déchargement;
- e) défaillance du matériel due à la corrosion;
- f) dégâts provoqués par un incendie ou une explosion.

### Livraison de chlore liquide par camion-citerne

22. Il est vivement conseillé de prendre chaque fois que cela est possible les mesures suivantes pour réduire au minimum les risques:

- a) aménagement d'une zone de déchargement séparée destinée uniquement aux camions livrant du chlore: voie de garage pourvue d'une

protection latérale convenable (telle qu'une glissière d'autoroute) ou voie en cul-de-sac, par exemple;

- b) limitation, par des moyens appropriés, de la vitesse sur les routes avoisinantes;
- c) pose de barrières et de signaux d'avertissement, de barrières mobiles ou de cônes de signalisation sur la route, fermeture des portails d'accès lorsque le camion-citerne est en position de déchargement;
- d) installation d'un système de sûreté (voir paragr. 25) empêchant le branchement de la tuyauterie de transvasement sur le camion-citerne tant que les barrières de protection ne sont pas fermées;
- e) intervention de deux personnes, le conducteur étant présent pendant toute la durée du déchargement et une deuxième personne l'assistant pour le branchement et le débranchement de la tuyauterie; le deuxième homme devrait rester à proximité et être prêt à intervenir pendant toute la durée du déchargement (voir la procédure exposée dans la note annexe 4);
- f) étude du tracé des tuyauteries dans la zone de façon à réduire le plus possible le risque d'endommagement par les camions-citernes ou par d'autres véhicules ou engins mobiles.

23. Lorsqu'il n'est pas possible de créer une zone de déchargement séparée et que le poste de déchargement se trouve sur une voie de circulation traversant les installations, cette voie devrait être fermée à toute circulation pendant les opérations de déchargement.

### Livraison de chlore liquide par wagon-citerne

24. Il est vivement recommandé d'adopter les mesures suivantes pour réduire le plus possible les risques:

- a) fermeture de l'embranchement sur lequel le déchargement s'effectue à tout trafic par blocage des aiguilles pendant le transvasement du wagon-citerne au réservoir de stockage;
- b) régulation, par des moyens appropriés, du volume et de la vitesse du trafic sur les voies voisines;

- c) pose de barrières ou de signaux d'avertissement lorsque le wagon-citerne est en position de déchargement;
- d) installation d'un système de sûreté (voir paragraphe 25) empêchant le branchement ou le débranchement de la tuyauterie de transvasement tant que les barrières ne sont pas fermées ou que les signaux d'avertissement ne sont pas en place; il est souhaitable que ce système assure également le blocage des aiguilles donnant accès à l'embranchement et la mise en place des taquets d'arrêt pour immobiliser le wagon-citerne avant que le transvasement puisse commencer;
- e) intervention de deux personnes, une personne chargée de toute l'opération de déchargement et une autre présente pour l'assister pendant le branchement et le débranchement de la tuyauterie; le deuxième homme devrait rester à proximité et être prêt à intervenir pendant toute la durée du déchargement;
- f) étude du tracé des tuyauteries dans la zone de façon à réduire le plus possible le risque d'endommagement par les wagons-citernes ou par d'autres wagons ou engins mobiles.

### **Systèmes de sûreté**

25. Comme l'indiquent les paragraphes 22 à 24, on peut mettre en place des systèmes de sûreté pour empêcher l'approche d'autres véhicules pendant les opérations de déchargement comme pour empêcher tout déplacement inopiné des véhicules-citernes quand la tuyauterie est branchée. Le principe de ces systèmes est d'interdire les opérations de transvasement tant que certaines conditions de sécurité ne sont pas remplies. On peut ainsi concevoir un système qui requiert le blocage des freins du véhicule pour permettre le branchement de la tuyauterie de transvasement, ou qui commande, quand la tuyauterie est sous pression, un feu clignotant rappelant au conducteur que le véhicule est branché (ce dernier système peut être intéressant dans les usines de production de chlore ou les usines consommatrices de grandes quantités). Les manœuvres nécessaires pour amener les camions-citernes à la position exacte qu'ils doivent avoir pour le raccordement avec des tuyauteries rigides peuvent compliquer la mise au point d'un système présentant toutes garanties de

sécurité. En pareil cas, il est vivement conseillé d'installer un dispositif empêchant l'accès d'autres véhicules, d'instituer un système de travail qui prévienne tout déplacement accidentel des camions-citernes et de donner une formation appropriée aux chauffeurs.

### **Plates-formes d'accès aux tuyauteries fixes de transvasement**

26. Il importe d'assurer un accès satisfaisant aux tuyauteries fixes de déchargement du chlore, qui permette d'effectuer le branchement et le débranchement des tuyauteries dans des conditions offrant le maximum de sécurité. Lorsque l'opération doit se faire à une certaine hauteur au-dessus du sol, il convient d'aménager une plate-forme fixe, conçue de façon à pouvoir être évacuée avec un minimum de risque en cas d'incident.

27. Les plates-formes devraient être de construction solide, en un matériau non combustible (par exemple en acier). Elles devraient avoir une surface dégagée à revêtement antidérapant et comporter sur les bords des plinthes et des garde-corps. Elles devraient être équipées d'escaliers de secours qui permettent de les évacuer d'un côté ou d'un autre en cas d'incident. On aménagera à cet effet des escaliers à inclinaison normale, de préférence aux échelles verticales ou aux escaliers à forte inclinaison. Si l'on doit installer une échelle verticale, il faut veiller à ce que la crinoline antichute ou d'autres dispositifs n'entravent pas le passage de personnes équipées de respirateurs. Les plates-formes mobiles qui doivent donner accès à la partie supérieure des véhicules-citernes devraient être conçues de façon à prévenir autant que possible le risque de collision entre la plate-forme et les véhicules. Il est possible d'utiliser à cette fin un système de sûreté qui règle les mouvements respectifs de la plate-forme et du véhicule.

28. Il peut être utile de prévoir une protection contre les intempéries sur les portiques fixes des postes de déchargement, par exemple au moyen de brise-vent ou d'auvents.

29. Il convient de prévoir, dans un endroit sûr, un emplacement suffisant pour entreposer du matériel de secours (masques à gaz, respirateurs, vêtements de protection et équipement de rechange), de façon à l'avoir sous la main en cas d'incident.



## Dispositifs de raccordement des véhicules-citernes aux installations de stockage

30. [Dispositions applicables au Royaume-Uni.] Il convient d'accorder la plus grande attention aux dispositifs de raccordement des véhicules-citernes aux installations de stockage pour le transvasement de chlore liquide. C'est là qu'il risque le plus de se poser des problèmes de nature à entraîner des dégagements de chlore dans l'environnement. Les tuyauteries devraient être aussi simples que possible.

31. Pour transvaser le chlore des véhicules-citernes dans les installations de stockage, il faut raccorder le tuyau de déchargement de la citerne à la tuyauterie de l'installation et brancher sur la citerne une tuyauterie d'air, d'azote ou de chlore gazeux comprimé.

### Conception et entretien

32. Les défaillances du dispositif de raccordement peuvent être dues à un défaut de conception ou de construction (choix des matériaux, réalisation), à une erreur d'utilisation ou à un manque d'entretien et à un défaut d'inspection. Il est donc impératif de s'assurer que la conception du matériel répond aux exigences, que le matériel est régulièrement essayé et inspecté et qu'il est convenablement entretenu.

### Dispositifs de raccordement

33. Il existe trois types de raccordement:

- a) les tuyauteries métalliques (avec élément de torsion);
- b) les tuyauteries souples;
- c) les bras articulés.

On utilise généralement des tuyauteries métalliques, mais il est possible aussi, avec l'accord des fournisseurs de chlore, d'employer des tuyauteries souples ou des bras articulés.

#### Tuyauteries métalliques (avec élément de torsion)

34. Les tuyauteries métalliques sont généralement réalisées en tube d'acier. On leur donne une certaine flexibilité en y insérant une section à deux coudes (parfois une section à

boucle) qui, par torsion, peut absorber le mouvement vertical de la citerne du véhicule pendant le déchargement. La tuyauterie est branchée à la citerne au moyen d'un raccord vissé; on utilise habituellement des raccords de ce genre aux deux extrémités de la tuyauterie.

35. Du côté de l'aire de stationnement des camions-citernes, sur une première longueur de 5 à 7 m, la tuyauterie ne devrait pas être ancrée mais être suspendue ou supportée. Le système de suspension ou de support devrait la maintenir à une hauteur suffisante pour que les camions-citernes puissent librement manœuvrer au-dessous pour se mettre en position. Il devrait également laisser à la tuyauterie une marge de déplacement vertical de 150 mm. Il est recommandé de choisir un tube d'un diamètre minimal de 20 mm.

36. Les tuyauteries de raccordement réalisées en tube métallique devraient répondre aux mêmes critères de fabrication que les tuyauteries fixes (voir paragr. 41 à 46). Lorsqu'elles sont raccordées à l'aide de raccords vissés, l'étanchéité devrait être assurée par des joints encastrés.

#### Tuyauteries souples

37. Les caractéristiques des tuyauteries souples devraient être fixées d'accord avec les fournisseurs de chlore. Ces tuyauteries exigent des contrôles plus fréquents que les tuyauteries métalliques visées dans les paragraphes qui précèdent. Elles ont aussi une durée d'utilisation plus courte. En revanche, leur utilisation facilite la mise en position des camions-citernes. On fabrique des tuyauteries souples à garniture tressée en Monel d'un diamètre allant jusqu'à 50 mm pour le transvasement de chlore liquide et jusqu'à 25 mm pour l'amenée de gaz comprimé au véhicule-citerne.

38. Les consignes d'exploitation devraient prescrire une inspection visuelle et un contrôle d'étanchéité des tuyauteries souples avant leur utilisation pour le transvasement de chlore liquide.

#### Bras articulés

39. On utilise parfois des bras articulés à raccords pivotants dans les installations de production de grande capacité, lesquelles n'entrent pas dans le cadre de ce guide.

### Consignes d'exploitation et d'entretien

40. Les consignes d'exploitation devraient indiquer les contrôles et les essais à effectuer sur les branchements avant l'utilisation. Les consignes d'entretien devraient fixer les règles d'inspection technique et de remplacement du matériel. Ces dispositions sont précisées ci-après :

#### Consignes d'exploitation

- inspection visuelle avant l'utilisation, notamment des filetages des raccords;
- renouvellement des joints (fibre d'amiante comprimée) à chaque branchement; les joints mis au rebut devraient être recueillis et éliminés de façon sûre (présence d'amiante);
- contrôle de l'étanchéité du branchement avant le transvasement de chlore liquide;
- protection des raccords par des bouchons et protection des tuyaux après l'utilisation pour réduire les risques d'endommagement des filetages et d'accumulation d'humidité à l'intérieur.

La note annexe 4 propose une procédure type de déchargement.

#### Consignes d'entretien

- inspection technique au moins une fois par an ou après 1 000 opérations; tenue d'un registre des inspections;
- remplacement du matériel à des intervalles réguliers ou lorsque l'inspection technique en montre la nécessité;
- après contrôle, séchage des tuyauteries de remplacement flexibles à l'air sec, jusqu'au point de rosée de  $-40^{\circ}\text{C}$ .

### Tuyauteries pour chlore liquide

#### Tuyauteries fixes au poste de déchargement

41. Le système de tuyauteries fixes au poste de déchargement comprend les tuyauteries suivantes:

- a) une tuyauterie pour mettre la citerne de transport sous pression au moyen d'air, d'azote ou de chlore gazeux comprimé;
- b) une tuyauterie pour transvaser le chlore liquide de la citerne dans l'installation de stockage;

- c) une tuyauterie à air comprimé pour actionner les robinets du véhicule-citerne si celui-ci est équipé de robinets à télécommande pneumatique. Les tuyauteries devraient être peintes de couleurs distinctives et/ou être repérées par des inscriptions. Les conditions auxquelles doivent satisfaire les tuyauteries et la robinetterie sont exposées ci-après. Le système de déchargement du chlore liquide est décrit aux paragraphes 134 à 156.

#### Tuyauteries de transport

42. Les tuyauteries à chlore liquide devraient être posées en principe au-dessus du sol. Leur tracé devrait être étudié de façon qu'elles soient protégées le plus possible contre les risques d'endommagement mécanique, de corrosion et d'incendie. Un diamètre minimal de 20 mm est recommandé du point de vue de la résistance mécanique. Les tuyauteries devraient être clairement marquées et peintes en jaune.

#### Spécifications techniques (tuyauteries amenant le chlore liquide aux réservoirs de stockage ou des réservoirs de stockage aux points d'utilisation)

43. Les tuyauteries devraient être étudiées, fabriquées, inspectées et éprouvées conformément aux normes applicables et aux dispositions contenues dans cette section.

#### Pression de calcul

Elle devrait être conforme aux normes applicables, sans être inférieure à 12 bar (pression relative), ce qui correspond à une température de service de  $+45^{\circ}\text{C}$ . Tout élément susceptible d'être soumis à une température plus élevée devrait être conçu pour résister à la tension de vapeur correspondante.

La tuyauterie devrait avoir la résistance et la robustesse requises pour toutes les conditions d'exploitation prévisibles.

#### Température de service

La température minimale à prévoir devrait être inférieure à la température minimale d'exploitation ou à la température à laquelle la tuyauterie serait refroidie si du chlore liquide s'évaporait à la pression atmosphérique ( $-35^{\circ}\text{C}$ ). La plage normale de températures va de  $-35^{\circ}\text{C}$  à  $+45^{\circ}\text{C}$ .

## Matériau

Il est recommandé d'utiliser des tubes étirés en acier au carbone, mais il est possible d'employer des tubes soudés par résistance et recuits automatiquement au stade de la fabrication pour éliminer les contraintes.

Les coudes, les tés et les raccords réducteurs devraient être forgés ou façonnés à chaud sans réduction de l'épaisseur des parois.

## Surépaisseur de tolérance à la corrosion

La surépaisseur minimale à prévoir est de 1 mm.

## Rayon minimal de cintrage

Le rayon minimal de cintrage est de trois diamètres de tube. Il faut utiliser des coudes soudés si un rayon plus faible est nécessaire.

## Assemblages par boulons

Ils devraient être réalisés conformément aux normes applicables.

## Brides

Le nombre des brides devrait être aussi réduit que possible. Les brides devraient satisfaire aux normes applicables. L'acier utilisé pour la fabrication des brides ou des raccords soudés doit être compatible avec celui des tubes.

## Joints

On devrait utiliser des joints d'étanchéité en fibre d'amiante comprimée, conformes aux normes applicables. Les joints devraient être convenablement marqués lorsque différents matériaux d'étanchéité sont utilisés dans l'installation.

L'utilisation de matériaux non adaptés pour les joints peut être dangereuse. Il convient de poursuivre les recherches pour mettre au point un matériau d'étanchéité satisfaisant exempt d'amiante.

44. Les contrôles suivants devraient être effectués au cours de la fabrication:

## Détensionnement

Tous les éléments fabriqués et toutes les soudures en bout devraient subir un recuit de détensionnement pour éliminer les contraintes avant l'inspection et les épreuves finales.

## Inspection et épreuve de pression

Toutes les soudures en bout devraient être contrôlées aux rayons X ou aux ultrasons.

Toutes les tuyauteries devraient subir une épreuve de pression conformément aux normes applicables. Lorsqu'on procède à des épreuves hydrostatiques, il importe de nettoyer à fond et de sécher toute la tuyauterie avant d'y introduire du chlore.

Il convient de débarrasser les tuyauteries de toute trace d'huile ou de graisse, des projections de soudage, de la calamine et des autres matières étrangères. Si une épreuve hydrostatique est effectuée après montage, il convient de changer tous les joints d'étanchéité pour éliminer toute trace d'humidité, puis d'effectuer un contrôle d'étanchéité des nouveaux joints.

## Modifications

Les extensions, modifications ou réparations des tuyauteries devraient satisfaire à des conditions au moins aussi rigoureuses que celles qui sont fixées par les normes de calcul et de fabrication observées à l'origine, notamment quant aux opérations de détensionnement, à l'inspection et aux épreuves.

## Protection des tuyauteries

**Note:** la question, particulièrement importante, de la protection des tuyauteries contre le risque de surpression fait l'objet des paragraphes 47 à 53.

45. Les tuyauteries peuvent être endommagées:
- par un impact mécanique;
  - par le feu (ce qui entraîne une réaction entre l'acier et le chlore);
  - par une corrosion grave des surfaces intérieures ou extérieures.
46. Les tuyauteries de chlore devraient:
- a) être protégées par l'éloignement ou par des barrières contre le risque d'endommagement par des véhicules;
  - b) être protégées contre les chutes d'objets (il ne faut pas qu'il y ait au-dessus des appareils de levage, des toits de construction légère, etc.);

- c) être séparées des tuyauteries transportant des produits corrosifs ou inflammables, comme des sources de chaleur, d'une façon qui dépendra de la nature des autres produits et de l'estimation des risques;
- d) être posées sur des supports appropriés;
- e) être accessibles pour l'entretien et les inspections;
- f) être de préférence dépourvues de revêtement; dans le cas contraire, elles devraient être inspectées régulièrement sous le revêtement (risque de corrosion due à un défaut d'étanchéité de celui-ci).

## Protection contre le risque de surpression

47. Si du chlore liquide peut se trouver retenu dans des sections de tuyauterie isolées par deux robinets, la dilatation du chlore sous l'effet de la chaleur peut engendrer un risque de surpression. Il convient de prévoir ce risque dans les opérations d'exploitation et d'établir des consignes appropriées pour le prévenir.

48. Le risque de rétention de chlore liquide dans des sections de tuyauterie isolées par deux robinets est augmenté par les facteurs suivants:

- intervention de plusieurs personnes dans la fermeture des robinets d'isolement, chose qui peut arriver en particulier sur les conduites de grande longueur ou dans les circuits complexes entre différentes unités;
- fermeture simultanée de robinets à commande à distance destinés à isoler une installation. Il convient de ne pas multiplier les robinets à action automatique pouvant isoler ainsi des sections de tuyauterie; mieux vaut utiliser des robinets dont l'action est déclenchée manuellement.

Lorsque du chlore liquide est retenu dans une section de tuyauterie et que la température augmente, il y a risque de surpression. Une faible augmentation de la température suffit à provoquer une pression hydraulique très élevée en raison du fort coefficient de dilatation du chlore liquide.

## Dispositifs de décompression

49. Les dispositifs de décompression compliquent les installations de tuyauterie et entraînent eux-mêmes des risques, si bien qu'il faut en principe éviter d'y recourir. Toutefois, si la capacité du système est telle qu'un rejet de chlore pourrait provoquer un accident grave, il est nécessaire de mettre en place des dispositifs automatiques pour abaisser la pression dans les tuyauteries en cas de danger. Il convient d'étudier la configuration des tuyauteries, l'emplacement des robinets et leur mode de fermeture (voir paragr. 48) pour déterminer l'existence éventuelle du risque.

50. Il est recommandé d'étudier de près les systèmes de décompression avec les fournisseurs de chlore. L'effet de décompression ne saurait en aucun cas être obtenu simplement par l'écartement des joints à bride sous l'action de la pression.

## Types de dispositifs

51. On trouve deux types de dispositifs de décompression pour la protection des tuyauteries de chlore:

- a) des disques de rupture installés sur les tuyauteries, déchargeant le chlore, en cas de surpression, dans un système collecteur approprié (voir paragr. 52);
- b) des réservoirs d'expansion, retenant le chlore, en phase gazeuse (voir paragr. 53). Il est difficile, avec ce dispositif, de déterminer si le réservoir contient du chlore gazeux ou des gaz inertes, si bien qu'il n'est plus recommandé pour les installations nouvelles.

Dans les deux cas, le volume offert par le système de décompression devrait correspondre à 20 pour cent au moins du volume de la tuyauterie. Les réservoirs d'expansion devraient être déclarés comme des appareils à pression aux fins d'inspection et d'enregistrement.

## Disques de rupture

52. On peut réaliser ce dispositif comme l'indique la figure 1. Le dispositif comprend un réservoir relié à la tuyauterie de chlore par un raccordement. Sur ce raccordement est monté un disque de rupture. Le réservoir est muni d'un manomètre avec contact d'alarme; en cas de fuite au niveau du disque ou de rupture du disque, la

pression augmente dans le réservoir et déclenche l'alarme. Il est possible alors de décharger le chlore du réservoir et de la tuyauterie, par le moyen d'un robinet, vers les installations de production ou le système d'absorption.

### Réservoirs d'expansion

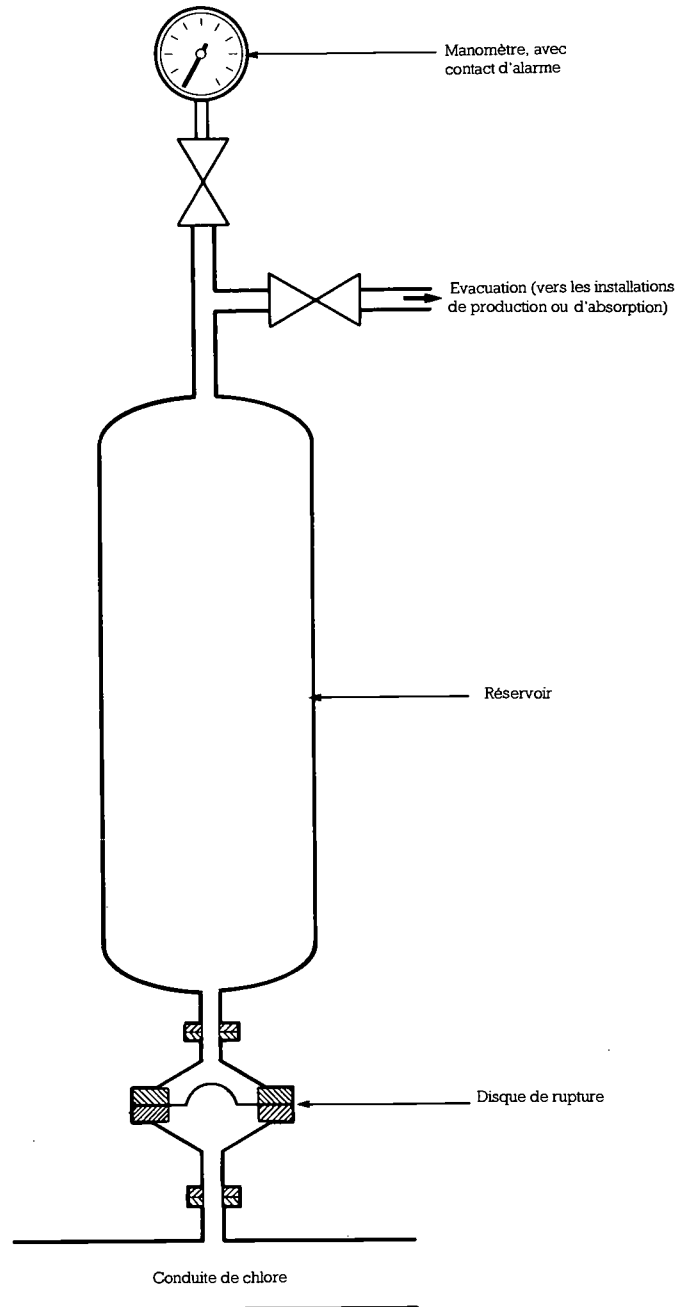
53. Ce dispositif est illustré à la figure 2. Il est constitué par un réservoir d'expansion vertical monté sur la tuyauterie de chlore. Avant l'installation, le réservoir devrait être séché à fond. Sa partie supérieure devrait être maintenue à une température de 60°C environ à l'aide d'un système de chauffage à régulation thermostatique étudié de façon à prévenir la formation de points chauds (on n'utilisera pas de rubans chauffants électriques à moins qu'ils ne soient du type à compensation thermique). Le dispositif devrait comporter un système d'alarme en cas d'élévation ou de baisse anormale de la température. Il ne faut pas monter de robinet d'isolement entre la tuyauterie de chlore et le réservoir. Celui-ci doit satisfaire aux conditions prévues pour les récipients qui doivent recevoir du chlore sous pression; il devrait être étudié toutefois pour supporter une température maximale d'utilisation plus élevée et pour résister alors à la tension de vapeur du chlore porté à la température de récipient. Ce système n'est pas recommandé pour les nouvelles installations (voir paragr. 51 b)).

### Robinets

54. Il est indispensable de choisir très soigneusement les robinets utilisés dans les installations de chlore liquide. Les matériaux employés pour la fabrication des robinets devraient être résistants au chlore et devraient pouvoir supporter les contraintes auxquelles ils sont susceptibles d'être soumis. Le corps des robinets devrait être réalisé de préférence en acier forgé; la fonte est à proscrire. Si le robinet est d'un type tel que du chlore liquide risque de rester retenu à l'intérieur lorsqu'il est fermé, il faut veiller à prévenir le risque de surpression en cas d'élévation de la température.

55. L'évaporation du chlore liquide peut provoquer un abaissement de la température jusqu'à -35°C. Les robinets choisis devraient être capables de fonctionner normalement en pareil cas. Les problèmes posés par le froid ou par les

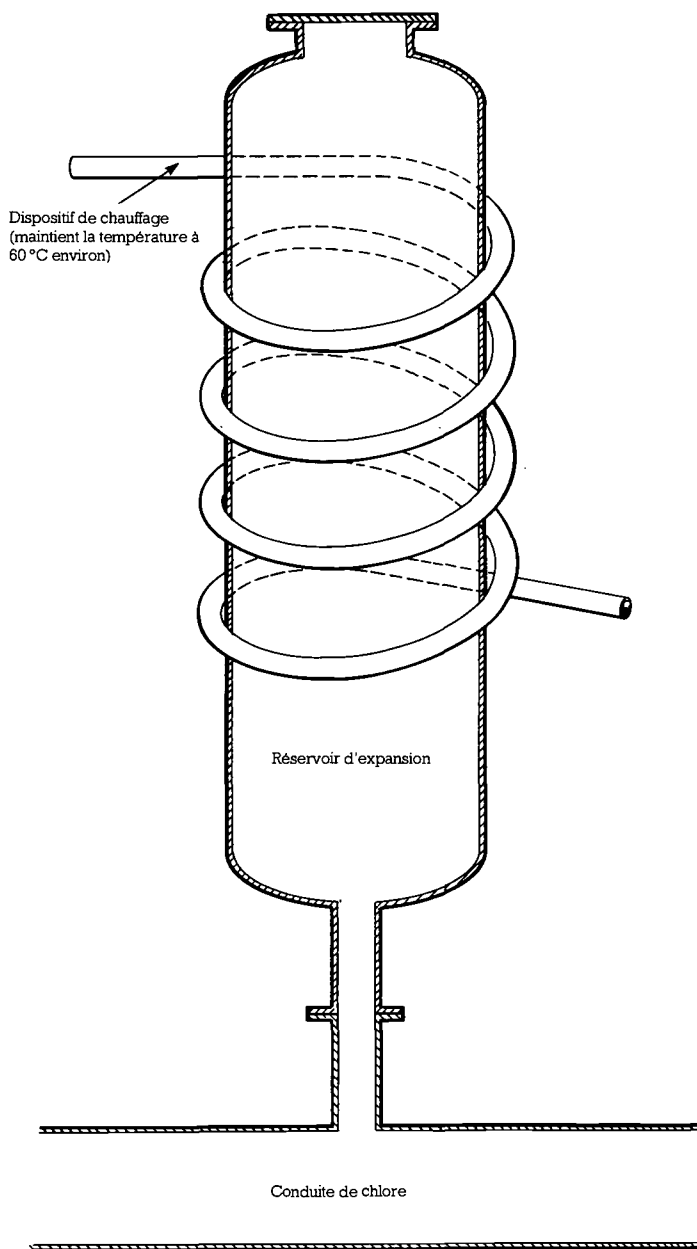
**Figure 1. Dispositif de décompression à disque de rupture**



propriétés du chlore liquide limitent les possibilités d'utilisation de certains types de robinets.

56. Le choix des robinets pour chaque utilisation devrait être discuté avec les fournisseurs de chlore liquide, lesquels seront à même d'indiquer les fabricants dont les articles ont fait leurs preuves. Cela réduira le risque d'utilisation de robinets non adaptés qui devraient être remplacés très vite et qui pourraient présenter un danger.

**Figure 2. Dispositif de décompression à réservoir d'expansion (non recommandé)**



57. Pour les travaux d'entretien, les robinets d'isolement, de quelque type qu'ils soient, n'assurent pas une protection suffisante. Les installations devraient être conçues de façon qu'il soit possible d'isoler parfaitement le secteur concerné. Pour cela, on peut insérer dans les tuyauteries des éléments susceptibles d'être enlevés et remplacés par des brides pleines, ou encore des obturateurs à lunette.

### Types de robinets

58. On fabrique, pour les installations de chlore liquide ou de chlore gazeux sous pression, les types de robinets suivants:

- robinets à soupape verticale;
- robinets à tournant conique;
- robinets à tournant sphérique.

59. Les robinets devraient être dégraissés avant montage; ils devraient être complètement secs. Après ce traitement, il convient de les garder dans des sachets hermétiques individuels, prêts à être installés.

### Robinet à soupape verticale

60. Ce type de robinet est utilisé de préférence pour l'isolement de réservoirs de stockage de chlore liquide ou sur des tuyauteries à fort débit. Les robinets à soupape type billette sont particulièrement indiqués, eux, pour les tuyauteries de soutirage de chlore liquide des réservoirs de stockage (voir paragr. 88). L'étanchéité au gaz autour de la tige de la soupape peut être assurée par une garniture constituée de préférence de joints annulaires ou de chevrons en polytétrafluoréthylène (PTFE) ou par un soufflet doublé par un dispositif d'étanchéité secondaire. Il est utile que les robinets soient dotés d'un système de contre-siège, de façon que la garniture d'étanchéité ne soit pas soumise à la pression de la tuyauterie lorsque le robinet est ouvert à fond.

### Robinet à tournant conique avec gaine en PTFE

61. Les robinets à tournant conique avec gaine en PTFE sont utilisés comme robinets d'isolement sur les tuyauteries de chlore liquide, notamment lorsqu'il peut être nécessaire de procéder à une fermeture rapide. Le robinet principal, sur les réservoirs de stockage, devrait cependant être de préférence un robinet à soupape à siège plan.

62. Les robinets à tournant conique pour chlore liquide devraient être conçus de façon à prévenir les problèmes que poserait la rétention de chlore liquide dans la lumière du tournant lorsque le robinet est fermé. Si cela conduit à utiliser des robinets unidirectionnels, le sens d'écoulement devrait être indiqué sur le robinet afin d'assurer un montage correct. L'étanchéité au gaz est réalisée

par une gaine en PTFE insérée dans le corps du robinet et par un joint supplémentaire sur toute la longueur de la tige entre le corps et la tête du robinet. Il convient de veiller à ce que la tige ne soit pas soumise à des poussées latérales.

### Robinets à tournant sphérique

63. Ces robinets peuvent être utilisés comme robinets d'isolement sur des tuyauteries de chlore liquide. La manœuvre du tournant devrait être limitée à un quart de tour; les robinets devraient comporter des brides permettant un écoulement direct, ainsi que des joints d'étanchéité en PTFE.

64. On évitera d'utiliser des robinets à tournant sphérique lorsque les conditions d'exploitation comportent fréquemment de fortes variations de température.

65. Les robinets à tournant sphérique pour chlore liquide devraient être conçus de façon à prévenir les problèmes que poserait la rétention de chlore liquide dans la lumière du tournant lorsque le robinet est fermé. Si cela conduit à utiliser des robinets unidirectionnels, le sens d'écoulement devrait être indiqué sur le robinet afin d'assurer un montage correct.

### Robinets à commande à distance

66. La vitesse de fermeture des robinets à commande à distance ne devrait pas être excessive, afin de ne pas provoquer de trop fortes crêtes de pression dans le système.

### Réservoirs de stockage

67. Les recommandations qui suivent portent uniquement sur le stockage de chlore liquide sous pression. Dans les usines de production, le chlore liquide est parfois stocké à basse température sous faible pression, mais cette méthode de stockage ne convient pas pour les installations d'utilisation.

68. Les réservoirs de stockage de chlore liquide devraient avoir une capacité sensiblement supérieure à la capacité maximale des camions-citernes ou des wagons-citernes. Pour prévenir le risque de remplissage excessif, il est déconseillé d'établir des installations comportant plusieurs petits réservoirs entre lesquels il faudrait répartir les livraisons de chlore liquide.

69. Il ne convient d'aménager des installations de stockage en vrac que si la consommation annuelle de chlore liquide est suffisante pour justifier l'achat en vrac plutôt que l'achat en fûts.

70. Pour déterminer le nombre de réservoirs de stockage à prévoir pour la capacité totale de stockage requise, il faut tenir compte des facteurs suivants:

- a) les réservoirs devraient tous avoir une capacité au moins suffisante pour recevoir la plus grande livraison prévisible;
- b) s'il faut pouvoir compter sur un approvisionnement ininterrompu en chlore liquide, il convient de prévoir au moins deux réservoirs, afin qu'il soit possible d'en mettre un hors service pour procéder aux inspections et assurer l'entretien; l'installation de deux réservoirs permet également une plus grande souplesse d'exploitation;
- c) la multiplication des réservoirs de stockage entraîne celle des équipements auxiliaires et accroît par conséquent la complexité des opérations.

71. Il convient de ménager, entre les réservoirs de stockage, un espace suffisant pour qu'il soit facile d'accéder aux réservoirs en toutes circonstances, même avec un équipement encombrant de protection individuelle (par exemple avec des appareils respiratoires autonomes).

72. Tous les réservoirs de stockage devraient être installés dans une cuvette étanche au chlore liquide d'une capacité suffisante pour retenir le contenu du réservoir le plus important avec une marge convenable. La cuvette devrait comporter un puisard; si elle est divisée en secteurs séparés pour les différents réservoirs, les secteurs devraient présenter un fond incliné vers un puisard pouvant desservir plusieurs réservoirs. Les puisards ne devraient pas communiquer avec les égouts. Il convient de prévoir un moyen d'évacuer les eaux pluviales par-dessus la paroi de la cuvette, et non par un écoulement au fond de la cuvette ou par un conduit avec robinet ménagé dans la paroi.

73. Il convient d'étudier les installations de façon à réduire au minimum les possibilités de fuites de chlore liquide (qui présentent un danger plus grand que celles de chlore gazeux). Il importe à cet égard

d'éviter, dans les installations, d'avoir des joints exposés en permanence au chlore liquide (il faut par exemple écarter en principe les dispositifs de vidange par le fond (voir paragr. 78)). De cette façon, s'il se produit des fuites, ce seront des fuites en phase gazeuse.

74. On peut réduire la gravité des fuites en abaissant la pression à l'intérieur des installations. Il importe donc de pouvoir, lors des opérations de transvasement, transférer le chlore gazeux dans une unité utilisatrice ou dans une unité d'absorption des effluents de chlore.

75. Les réservoirs de stockage devraient être installés au-dessus du niveau du sol. Il est déconseillé de les installer dans des fosses, où il est plus difficile d'exécuter les travaux d'entretien ou de réparation, et aussi de faire face à une fuite et d'assurer l'évacuation du chlore en cas d'incident.

76. L'implantation des installations devrait comprendre toutes les dispositions nécessaires pour assurer l'ordre et la propreté. Il convient de prévoir un ample espace pour le matériel d'entretien et de sécurité, qui doit être facilement accessible en cas de nécessité.

77. Il n'est pas nécessaire en principe d'assurer l'isolation thermique des réservoirs de stockage. Toutefois, si un réservoir doit être exploité à basse température et être pour cela protégé par un revêtement isolant, il convient d'utiliser un matériau d'isolation incombustible, chimiquement inerte à l'égard du chlore liquide ou gazeux et étanche à l'humidité atmosphérique.

### Spécifications techniques

78. Les spécifications techniques applicables aux réservoirs de stockage de chlore liquide et aux réservoirs d'expansion de construction nouvelle sont indiquées ci-après.

#### Pression de calcul

Au moins 12 bar (pression relative).

#### Température de service

La température minimale à prévoir ne devrait pas être supérieure à  $-35^{\circ}\text{C}$ , température qui est celle du chlore liquide lorsqu'il s'évapore à la pression atmosphérique. La plage normale de températures va de  $-35^{\circ}\text{C}$  à  $+45^{\circ}\text{C}$ .

### Taux de remplissage

Pour les réservoirs fixes, on compte habituellement 1,25 kg de chlore liquide pour 1 litre, valeur simplifiée qui garantit que le volume de chlore liquide ne dépassera pas 95 pour cent de la capacité totale du réservoir, même pour une température maximale de  $50^{\circ}\text{C}$ .

### Normes applicables

[Normes applicables au Royaume-Uni à la conception et à la construction des nouveaux réservoirs.]

### Surépaisseur de tolérance à la corrosion

La surépaisseur minimale à prévoir est de 1 mm.

### Supports

Les supports des réservoirs devraient être réalisés conformément aux normes applicables, de façon à autoriser les mouvements de dilatation ou de contraction à prévoir dans la plage des températures de service. Des solutions spéciales devraient être étudiées s'il y a lieu lorsque le réservoir est monté sur un dispositif de pesage hydraulique (pour la détermination du contenu du réservoir).

### Trous d'homme et piquages

Un ou plusieurs trous d'homme devraient être prévus au sommet des réservoirs; l'ouverture devrait avoir un diamètre de 600 mm (460 mm au minimum). Les piquages devraient être montés de préférence sur les couvercles des trous d'homme. Ils devraient avoir les dimensions minimales requises, notamment pour l'exploitation en phase liquide.

Les réservoirs ne devraient pas comporter de piquages dans la partie basse, sauf quand cela est nécessaire pour transvaser le chlore par pompage. Ces piquages devraient être munis alors d'un robinet intérieur, de préférence à commande à distance, doublé d'un robinet d'isolement (voir paragr. 89).

### Assemblages par boulons

Ils devraient être réalisés conformément aux normes applicables.



## Joint

On devrait utiliser des joints d'étanchéité en fibre d'amiante comprimée, conformes aux normes applicables. Les joints devraient être convenablement marqués lorsque différents matériaux d'étanchéité sont utilisés dans l'installation.

L'utilisation de matériaux non adaptés pour les joints peut être dangereuse.

## Documents

Le certificat de conformité aux normes applicables devrait être conservé pour consultation, de même que tous autres documents concernant l'état mécanique des réservoirs.

79. Le paragraphe 78 s'applique aux nouvelles installations conçues et construites conformément aux normes les plus récentes. Si l'on utilise dans une installation un réservoir précédemment réalisé selon une autre norme, il faut veiller à ce que l'ensemble de l'installation réponde aux conditions de cette dernière. Ainsi, si la pression pour laquelle le réservoir est conçu est inférieure à 12 bar (pression relative), la pression du système d'air comprimé, le réglage des dispositifs de décompression, etc. doivent être modifiés en conséquence, et le système de transvasement doit être aménagé de façon à fonctionner dans les conditions correspondant aux spécifications du réservoir.

## Équipement des réservoirs

80. Les réservoirs de stockage de chlore liquide comportent habituellement:

- a) une ligne de remplissage;
- b) une ligne d'exploitation;
- c) une ligne de décharge ainsi qu'une ligne d'amenée de gaz comprimé;
- d) un système de décompression;
- e) des manomètres et d'autres instruments.

81. Le nombre des raccords devrait être aussi limité que possible pour réduire les sources de fuite. Les robinets et les tuyauteries devraient être disposés de la façon la plus simple pour prévenir les fausses manœuvres. Des robinets d'isolement devraient être montés directement sur les piquages réalisés sur les couvercles des trous

d'homme ou sur les réservoirs de façon qu'il soit possible, quand l'installation comporte, à partir d'un piquage, une ligne à embranchement ou à division en T, d'isoler tout le dispositif. Le système devrait être conçu de telle sorte que, si les joints entre les robinets et le réservoir perdent leur étanchéité, seul du chlore gazeux puisse s'échapper. Ainsi, toute ligne plongeant dans le chlore liquide devrait quitter le réservoir par un piquage pourvu d'un robinet réalisé au-dessus du niveau du liquide, la ligne étant montée (à l'intérieur du réservoir) dans le corps du robinet (voir paragr. 88).

82. Tous les robinets et toutes les tuyauteries des réservoirs de chlore liquide devraient être marqués et peints d'une couleur distinctive.

83. Quand l'installation comporte en un point deux robinets d'isolement en série, il convient d'utiliser alternativement l'un et l'autre pendant des périodes définies lors de l'exploitation normale; on s'assure ainsi que les deux robinets sont toujours en état de fonctionnement.

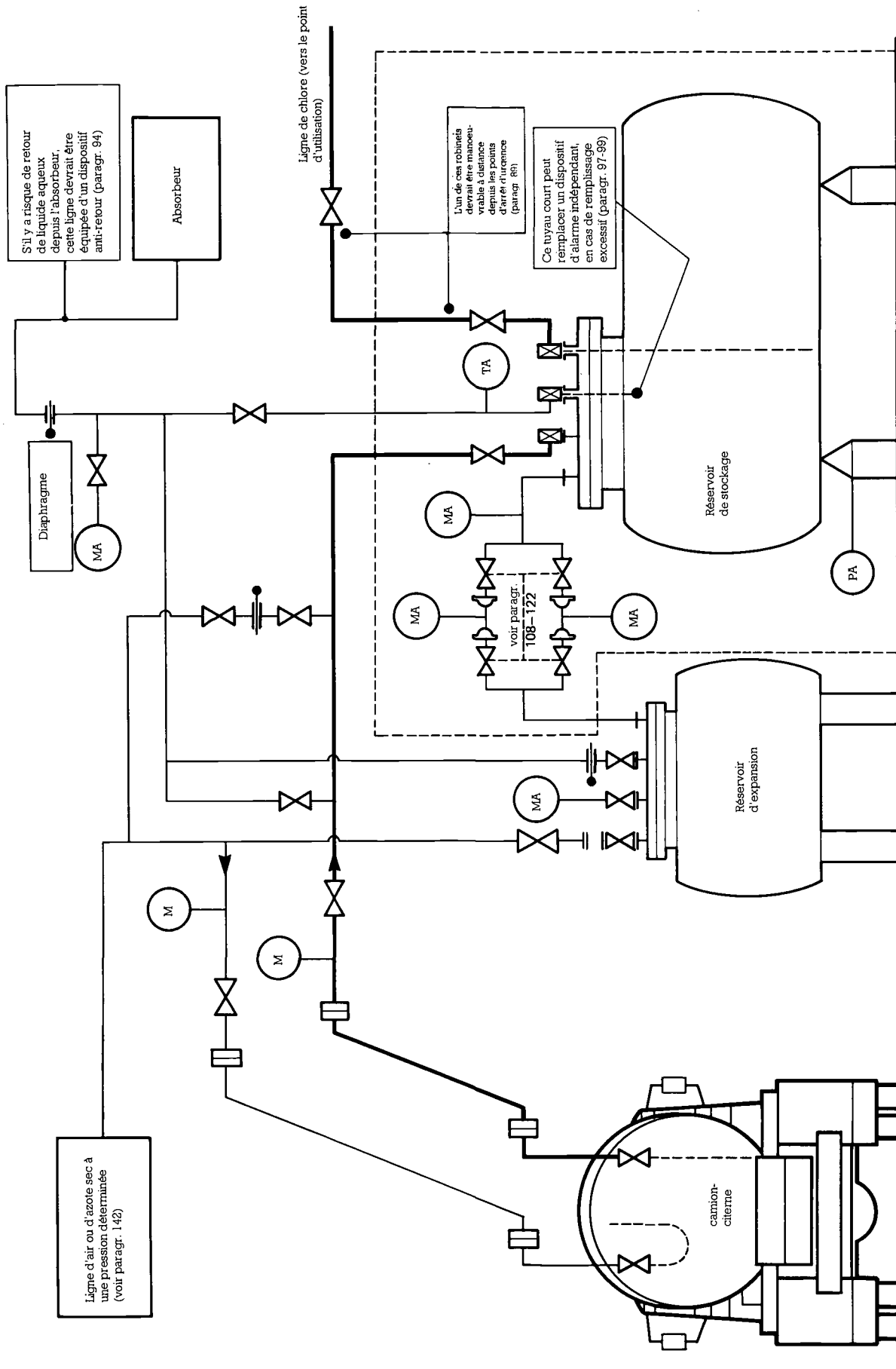
84. La figure 3 illustre de façon schématique l'application des principes exposés dans cette section. Les installations ne sauraient être toutes réalisées selon ce schéma, des solutions différentes (certaines décrites plus loin) pouvant s'imposer.

## Ligne de remplissage

85. La ligne de remplissage des réservoirs de chlore liquide ne devrait pas descendre à l'intérieur du réservoir au-dessous du niveau maximal de chlore. Avec un tuyau plongeant dans le chlore liquide, on risque d'avoir un retour de chlore en cas de rupture de cette ligne. On élimine ce risque grâce à un tuyau se terminant très haut à l'intérieur du réservoir; dans le cas d'un tuyau plongeant, on peut prévenir le risque de retour de chlore par siphonnage en perçant des trous dans la partie du tuyau située, à l'intérieur du réservoir, au-dessus du niveau maximal. Les réservoirs qui seraient équipés d'un tuyau plongeant devraient être munis des dispositifs supplémentaires de sécurité requis pour la ligne d'exploitation.

86. La ligne de remplissage devrait comporter un robinet d'isolement monté directement (par un raccord à bride) sur le piquage réalisé sur le réservoir. On devrait choisir de préférence un robinet à soupape.

Figure 3. Installation de transvasement de chlore liquide d'un camion-citerne à un réservoir de stockage (schéma indicatif, n'est pas nécessairement applicable à toutes les installations)



M = manomètre  
 MA = manomètre avec alarme (réglé sur la pression maximale)  
 TA = thermomètre avec alarme (en cas d'abaissement de la température)  
 PA = indicateur de poids avec alarme (réglé sur le poids maximal)

87. Il convient de monter un robinet additionnel de sécurité, éventuellement à commande à distance. On peut, le cas échéant, prévoir à la fois un robinet à commande à distance et un robinet d'isolement de sécurité.

### **Ligne d'exploitation**

88. Le chlore liquide est prélevé dans les réservoirs de stockage par un tuyau plongeant dans le liquide. Il convient de concevoir le dispositif de façon à prévenir toute fuite de chlore liquide si le joint entre le robinet d'isolement et le réservoir perd son étanchéité. La meilleure solution, dans les installations nouvelles, consiste à monter sur le piquage réalisé sur le réservoir (grâce à un raccord à bride) un robinet à soupape type billette et à visser le tuyau de prélèvement dans le réservoir directement dans la partie inférieure du robinet.

89. Le robinet d'isolement principal devrait être doublé par un robinet de sécurité, afin qu'il soit possible de couper la ligne d'exploitation si l'un des deux robinets ne ferme pas parfaitement. Suivant la configuration des tuyauteries, il convient de prévoir un ou plusieurs robinets manœuvrables à distance en cas d'incident. Un tel robinet pourra faire office de second robinet d'isolement (comme prévu ici); il faut pour cela qu'il soit placé en un point approprié et puisse assurer un isolement efficace.

90. Il est recommandé de limiter le débit de chlore liquide dans la ligne d'exploitation au débit maximal exigé au point d'utilisation. On peut le faire en installant dans la ligne d'exploitation un clapet ou un diaphragme limiteur de débit. Par là, il s'agit de limiter la quantité de chlore liquide qui s'écoulerait en cas d'incident grave (par rapport au débit maximal que permettrait, sans dispositif de sécurité, la tuyauterie). Il n'est pas indispensable de régler le dispositif au débit maximal requis au point d'utilisation lorsque celui-ci est très faible et que pareil réglage est de nature à entraîner d'autres problèmes (comme le risque d'obstruction du dispositif). Il est déconseillé aussi d'installer le dispositif limiteur de débit dans le tuyau plongeant dans le réservoir; en cas d'obstruction du dispositif (obstruction du diaphragme, blocage du clapet), en effet, on aurait des difficultés à soutirer le chlore du réservoir. Dans certaines installations, le dispositif en question peut être remplacé par un capteur de débit ou de pression commandant à distance un

robinet d'arrêt (voir paragr. 104). L'installation de limiteurs de débit est indiquée sur les lignes d'exploitation quand le débit normal de chlore est très inférieur à celui qui pourrait s'écouler en cas d'incident; elle ne l'est pas sur les lignes où le débit normal est important et sur lesquelles il faut prévoir d'autres moyens de détecter un débit excessif et d'arrêter l'écoulement.

### **Ligne de décharge, ligne d'amenée de gaz comprimé**

91. La ligne de décharge et la ligne d'amenée de gaz comprimé peuvent être raccordées aux réservoirs de stockage soit par des raccordements séparés, soit par un raccordement combiné. Dans les deux cas, le robinet directement monté sur le piquage réalisé sur le réservoir devrait être doublé par un second robinet.

92. Pour limiter le volume de chlore liquide admis dans les réservoirs conformément au taux de remplissage prévu, on peut monter sur la partie inférieure du robinet de la ligne de décharge (à l'intérieur du réservoir) un tuyau de trop-plein d'une longueur telle que, si le chlore dépasse le niveau maximal admissible, il est évacué par le trop-plein. Le tuyau de trop-plein devrait être contrôlé lors des inspections périodiques de l'installation. On peut monter sur la ligne de décharge un dispositif d'alarme (par exemple un thermomètre avec alarme en cas d'abaissement de la température) pour signaler l'arrivée de chlore liquide par le tuyau.

93. Lors du remplissage des réservoirs, il convient, à la fin de l'opération, d'ouvrir légèrement le robinet de décharge pour vérifier si le réservoir n'a pas été trop rempli. Cette précaution devrait être prévue dans les consignes de remplissage (voir la procédure indiquée dans la note annexe 4).

94. Pour prévenir le retour de liquide aqueux de l'absorbeur dans la ligne de décharge, il convient de prendre des précautions analogues à celles qui sont indiquées pour les vaporiseurs (voir paragr. 184 à 186). En ce qui concerne le risque de pénétration d'humidité, voir les paragraphes 205 à 207.

### **Système de décompression**

95. Les conditions auxquelles doivent satisfaire les robinets d'isolement sur le système de

décompression des réservoirs de stockage sont indiquées aux paragraphes 111 à 115.

### **Instruments de contrôle**

96. Les instruments de contrôle utilisés sur les réservoirs de stockage et dans les installations de chlore liquide en général devraient être autant que possible du type à sécurité intrinsèque. On évitera d'installer des appareils électriques ou électroniques dans des zones où ils pourraient être exposés à des fuites de gaz, à moins qu'ils ne soient spécialement protégés contre la corrosion.

97. Pour connaître la quantité de chlore liquide contenu dans les réservoirs, il est recommandé d'installer ceux-ci sur un dispositif de pesage hydraulique ou sur un pont-bascule. Le poids du contenu de chlore liquide devrait être indiqué à l'emplacement même du réservoir et, le cas échéant, dans la salle de contrôle de l'installation. Le système doit être doté d'un dispositif d'alarme. Pour des raisons de sécurité, il faut prévoir un dispositif d'alarme de contenu maximal dans la salle de contrôle et, le cas échéant, dans les installations complexes, un second dispositif d'alarme en cas de surremplissage (ce second dispositif n'est vraiment utile que s'il fonctionne indépendamment du premier).

98. Un dispositif d'alarme de contenu minimal peut être utile pour des raisons pratiques d'exploitation et peut contribuer à la sécurité, par exemple s'il y a risque de perturbation des processus en aval en cas de défaut d'alimentation en chlore liquide ou de pénétration d'air dans un appareil situé en aval.

99. Comme indicateur de contenu, on utilisera en principe des instruments à cadran. Toutefois, dans les installations simples qui disposent d'un personnel suffisant pour la surveillance des réservoirs, le dispositif d'alarme en cas de surremplissage peut être constitué par un court tuyau de trop-plein monté (à l'intérieur du réservoir) sur le piquage de la ligne de décharge. Dans l'éventualité d'un surremplissage, si l'alarme de contenu maximal n'est pas perçue, le chlore passe dans le tuyau de trop-plein et de là dans la ligne de décharge, où il s'évapore au-dessus du robinet, ce qui entraîne le givrage du tuyau.

100. Il convient de procéder à des contrôles et à des inspections périodiques, selon des procédures préalablement définies, et d'en consigner les résultats de façon appropriée.

101. Au lieu de mesurer la quantité de chlore liquide contenu dans les réservoirs au poids, on peut mesurer le niveau du liquide dans les réservoirs. Cependant, le choix du matériel est délicat et devrait être discuté avec les fournisseurs de chlore.

102. La pression à l'intérieur des réservoirs est mesurée à l'aide de manomètres spécialement conçus pour les installations de chlore liquide (appareils à membrane en argent ou en tantale). Avant leur installation, ces manomètres doivent être complètement dégraissés; ils ne doivent être ensuite testés qu'au moyen d'air comprimé pur, sec et exempt d'huile. Les manomètres peuvent être munis d'un contacteur d'alarme qui entre en action quand la pression dépasse la valeur maximale (ou tombe au-dessous de la valeur minimale) prédéterminée. On peut installer aussi des manoccontacts actionnant de façon indépendante les alarmes de pression (maximale ou minimale).

103. Il est possible de contrôler en permanence l'atmosphère à l'intérieur des locaux abritant des réservoirs de chlore liquide pour détecter les fuites de chlore, notamment dans les installations qui fonctionnent normalement sans aucun personnel (voir paragr. 251). Il est indispensable d'assurer un entretien régulier et efficace de ces systèmes pour les maintenir en parfait état de fonctionnement, surtout dans les installations (comme certaines stations de traitement des eaux) fonctionnant sans personnel, avec surveillance à distance. Les détecteurs de chlore devraient être réglés à une valeur correspondant approximativement à la limite d'exposition recommandée de 1 ppm.

104. Les systèmes de robinets commandés à distance par des capteurs de débit ou de pression (voir paragr. 90) posent le problème du choix entre le fonctionnement automatique et la possibilité d'intervention manuelle. A la limite, le fonctionnement devrait être automatique dans les installations travaillant sans personnel; il peut être indirect dans les installations équipées d'un bon système de contrôle, où une présence continue est assurée dans la salle de commande.

105. Sur les instruments de mesure à prévoir dans les systèmes automatiques de décompression, voir les paragraphes 108 et 116 à 122.

### **Protection des réservoirs de stockage contre le risque de surpression**

106. Les mesures recommandées jusqu'ici auront pour effet de réduire très considérablement le risque de surpression dans les réservoirs de chlore liquide. Tout remplissage excessif est signalé par le dispositif d'alarme du système de pesée indiquant le contenu du réservoir (paragr. 97 à 101) ou, quand le chlore est évacué par un tuyau de trop-plein dans la ligne de décharge, par le dispositif d'alarme monté sur celle-ci (paragr. 92). On prévient le risque de surpression dans l'arrivée d'air ou d'azote comprimé par l'installation d'une soupape de sûreté sur le réservoir de gaz comprimé (paragr. 142). Toute élévation excessive de la pression dans les réservoirs est signalée par un dispositif d'alarme (paragr. 102).

107. A titre d'ultime protection, les réservoirs doivent être équipés d'un système de décompression automatique qui limite la pression à la valeur de calcul.

### **Système de décompression**

108. Il est recommandé d'installer sur les réservoirs de stockage de chlore liquide un dispositif de sécurité constitué par deux disques de rupture montés en série (en position inversée). Le dispositif peut être constitué aussi par un disque de rupture suivi d'une soupape de sûreté, mais il y a toujours risque de corrosion de la soupape; il faut alors veiller soigneusement à en protéger celle-ci. Il est déconseillé d'utiliser uniquement des soupapes de sûreté à cause du risque de corrosion ou de blocage à craindre en cas d'exposition continue des soupapes au chlore. Quel que soit le système utilisé, il doit toujours comprendre un manomètre avec alarme (en cas de pression excessive) entre les deux disques de rupture ou entre le disque et la soupape (voir paragr. 122). Lorsqu'on adopte ce dernier dispositif, la soupape doit être démontée et révisée chaque fois que le disque de rupture est changé.

109. La ligne de décharge du système de décompression aboutit à un réservoir d'expansion fermé (sauf dans certaines installations spéciales).

Toute augmentation de la pression à l'intérieur du réservoir d'expansion ou entre les éléments du système de décompression diminue la protection qu'ils sont censés assurer aux réservoirs de stockage (voir paragr. 119 et 120).

### **Disques de rupture**

110. Les disques de rupture (qui sont conçus pour céder lorsque la pression approche ou atteint la pression maximale pour laquelle les réservoirs sont calculés) sont généralement en nickel, mais le tantale, l'argent ou d'autres matériaux compatibles peuvent également être utilisés. Les disques en graphite sans enduit sont déconseillés. Les disques de rupture devraient être choisis avec soin, compte tenu de la plage des températures d'exploitation, la pression de rupture dépendant de la température. Les disques devraient être conformes aux normes applicables.

### **Configuration du système de décompression**

111. Dans les installations très simples (comprenant en général un seul réservoir de stockage avec un réservoir d'expansion), on peut avoir un système de décompression à un seul disque de rupture monté directement sur le réservoir, sans robinet d'isolement. Pour des raisons pratiques, il est préférable de doter le système de robinets, afin de pouvoir remplacer les disques, après fermeture des robinets, sans qu'il soit nécessaire de vider complètement et de purger l'installation. Dans les installations comprenant plusieurs réservoirs de stockage reliés à un même réservoir d'expansion, le système doit être conçu de façon à permettre de remplacer rapidement les disques de rupture et de relâcher tout excès de pression du réservoir d'expansion.

112. Les systèmes recommandés sont représentés dans les figures 4 et 5. Les robinets d'isolement peuvent être munis d'un dispositif de sûreté qui maintienne toujours une branche du système ouverte (avec deux disques de rupture); ils peuvent aussi être bloqués séparément en position ouverte. Les disques de rupture devraient être des disques du type à calotte non supporté, face concave orientée du côté où s'exerce la pression. Les étiquettes devraient être laissées sur les disques afin qu'on puisse s'assurer qu'ils ont été correctement montés. Dans les installations relativement anciennes, on rencontre fréquemment

le système représenté à la figure 6. Dans les nouvelles installations, on devrait adopter les systèmes des figures 4 ou 5, qu'on devrait aussi monter si possible dans les installations anciennes lorsqu'on y procède à des modifications importantes.

113. Les robinets laissés ouverts doivent permettre d'évacuer l'excès de pression dans le réservoir d'expansion avec le débit requis. La tuyauterie en amont des robinets d'isolement devrait être aussi courte et le montage aussi simple que possible, pour réduire au minimum les risques de fuite de chlore (notamment aux raccords). Les robinets d'isolement en amont des disques de rupture devraient être montés de préférence directement sur les piquages réalisés sur le couvercle du trou d'homme du réservoir, grâce à un raccord à bride.

114. Les dispositions à prendre en cas de rupture d'un disque devraient être clairement définies, la règle étant qu'il ne faut jamais isoler les réservoirs de façon telle qu'il puisse s'y développer une pression excessive. Ces dispositions, qui peuvent différer selon les caractéristiques de l'installation, devraient être énoncées par écrit. Des consignes devraient préciser la façon de procéder pour mettre le réservoir hors service, stabiliser la pression, changer le disque de rupture, purger le récipient d'expansion et remettre le réservoir en service.

### Consignes d'exploitation

115. Dans toutes les installations où le système de décompression comporte des robinets d'isolement en amont des disques de rupture, il convient d'établir des consignes d'exploitation précises qui empêchent, dans toute la mesure où cela est pratiquement possible, une augmentation excessive de la pression, de quelque origine que ce soit, à l'intérieur du réservoir lorsque les robinets d'isolement sont fermés. Ces consignes, qui pourront différer selon les caractéristiques de l'installation, devraient comporter un système d'autorisation de travail. Elles devraient être fixées par écrit, de façon claire et précise, et être strictement observées. Elles devraient être de consultation facile et être inscrites dans les programmes de formation du personnel. Leur application devrait être contrôlée, avec une claire

définition des responsabilités. Les consignes devraient être régulièrement mises à jour, notamment en cas de modification des installations, des modes opératoires ou du système de gestion.

### Réservoirs d'expansion

116. La construction des réservoirs d'expansion devrait répondre à des spécifications semblables à celles qui sont prévues pour les réservoirs de stockage. Les réservoirs d'expansion devraient avoir une capacité d'environ 10 pour cent de celle du réservoir de stockage le plus grand.

117. Les réservoirs d'expansion devraient être munis d'un dispositif de purge à commande manuelle raccordé à un système d'absorption.

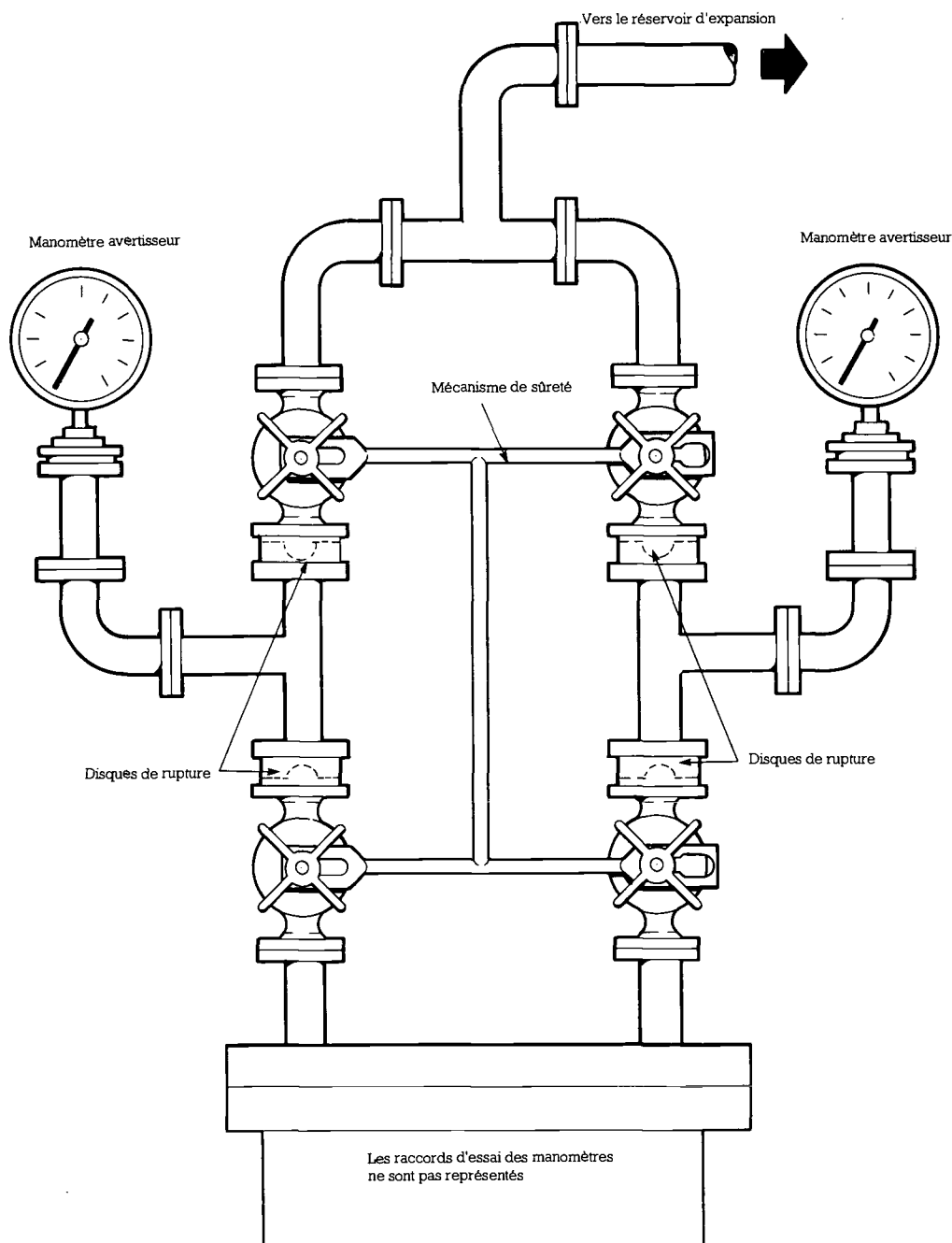
118. Pour l'inspection et l'entretien des réservoirs d'expansion, les installations de stockage doivent être vidangées du chlore liquide, à moins qu'il existe un autre système de décompression.

119. Les réservoirs d'expansion devraient être équipés d'un capteur de pression qui déclenche une alarme quand la pression augmente à l'intérieur. Le dispositif d'alarme doit être conçu de façon qu'il soit possible d'en tester régulièrement le bon fonctionnement (voir paragr. 122).

120. La ligne d'amenée d'air ou d'azote comprimé aux réservoirs d'expansion devrait être conçue de façon qu'il ne soit pas possible de mettre le réservoir sous pression par inadvertance; on peut obtenir ce résultat en débranchant la ligne, en y insérant une bride pleine ou en y montant un robinet d'isolement double et en établissant de strictes consignes d'exploitation. Dans les installations qui comportent un réservoir d'expansion commun à plusieurs réservoirs de stockage, il convient de prendre des dispositions appropriées pour pouvoir intervenir rapidement en cas d'alarme si la pression augmente dans le réservoir d'expansion.

121. Les précautions indiquées ci-dessus devraient rendre minime le risque de surpression due au chlore dans les réservoirs d'expansion. Il convient cependant, pour écarter tout à fait ce risque, de mettre au point avec les fournisseurs de chlore et les services de sécurité compétents des procédures ou des moyens techniques appropriés.

**Figure 4. Système de décompression (recommandé). Système double; robinets rendus interdépendants par un dispositif de sûreté**



### Avertisseurs de pression

122. Les réservoirs de stockage devraient toujours être équipés d'un avertisseur de pression haute. Le système de décompression devrait comporter en outre un manomètre/avertisseur à tous les points importants pour la sécurité. Dans les installations où chaque réservoir de stockage est couplé à un réservoir d'expansion, un avertisseur

de pression supplémentaire peut être suffisant, monté soit sur la tuyauterie du système de décompression (s'il n'y a qu'un disque de rupture), soit sur le réservoir d'expansion. Dans les installations qui comportent un réservoir d'expansion commun à plusieurs réservoirs de stockage, il devrait y avoir un avertisseur supplémentaire sur chaque système de

décompression, et un aussi sur le réservoir d'expansion.

## Inspection et mise en service des installations

### Généralités

123. L'inspection des installations de stockage et de manutention de chlore, les essais et la mise en service relèvent de la responsabilité de l'exploitant des installations; c'est à lui qu'en incombent l'organisation et la surveillance. Les fournisseurs de chlore ont pour règle de donner des conseils si on le leur demande et de visiter les installations avant la mise en service; ils ne livrent en effet du chlore que s'ils jugent que celles-ci sont convenables. La législation sur la sécurité et la santé au travail peut aussi imposer certaines obligations aux installateurs de matériel.

124. Avant la première mise en service, les installations devraient être inspectées et testées conformément aux spécifications techniques (voir paragr. 78). Les réservoirs devraient faire l'objet d'une première visite approfondie par les services d'inspection compétents dans les cinq ans qui suivent la mise en service. La fréquence des visites ultérieures devrait être déterminée par ces services et indiquée dans le certificat d'inspection correspondant; l'intervalle ne devrait en principe pas dépasser cinq ans. Les personnes chargées de ces visites devraient avoir les connaissances et l'expérience requises et disposer des moyens nécessaires pour rechercher, déceler et évaluer les défauts des installations de chlore; elles devraient pouvoir faire appel notamment à des services de laboratoire et d'essais et avoir les compétences techniques voulues pour se prononcer, à partir des résultats de l'inspection, sur l'état et l'utilisation ultérieure du matériel et sur les paramètres d'exploitation en fonction des exigences de la sécurité.

125. L'étendue des visites approfondies devrait être déterminée par les services d'inspection, qui pourront faire faire les essais (non destructifs) qu'ils jugent utiles. Le certificat d'inspection devrait indiquer toutes les méthodes d'inspection et d'essais utilisées et signaler de façon précise toutes les détériorations décelées dans les réservoirs ou dans les installations accessoires.

126. Sur les réservoirs garnis d'une enveloppe d'isolation thermique, il est nécessaire, lors des visites, d'enlever une partie suffisante de l'enveloppe pour pouvoir examiner l'état de la surface extérieure du réservoir.

127. Il n'est en principe pas recommandé de procéder à des épreuves hydrostatiques régulières. Toutefois, de telles épreuves s'imposent chaque fois que les réservoirs ont subi des modifications; ces modifications sont soumises à l'accord des services d'inspection compétents.

128. Les services d'inspection devraient déterminer si les réservoirs demeurent propres à l'exploitation en ce qui concerne:

- les pressions maximale et minimale de service;
- les températures maximale et minimale de service;
- la charge maximale que peuvent recevoir les supports et les fondations. Ces indications devraient figurer dans le certificat d'inspection, de même que la date de la prochaine visite.

### Procédure d'inspection

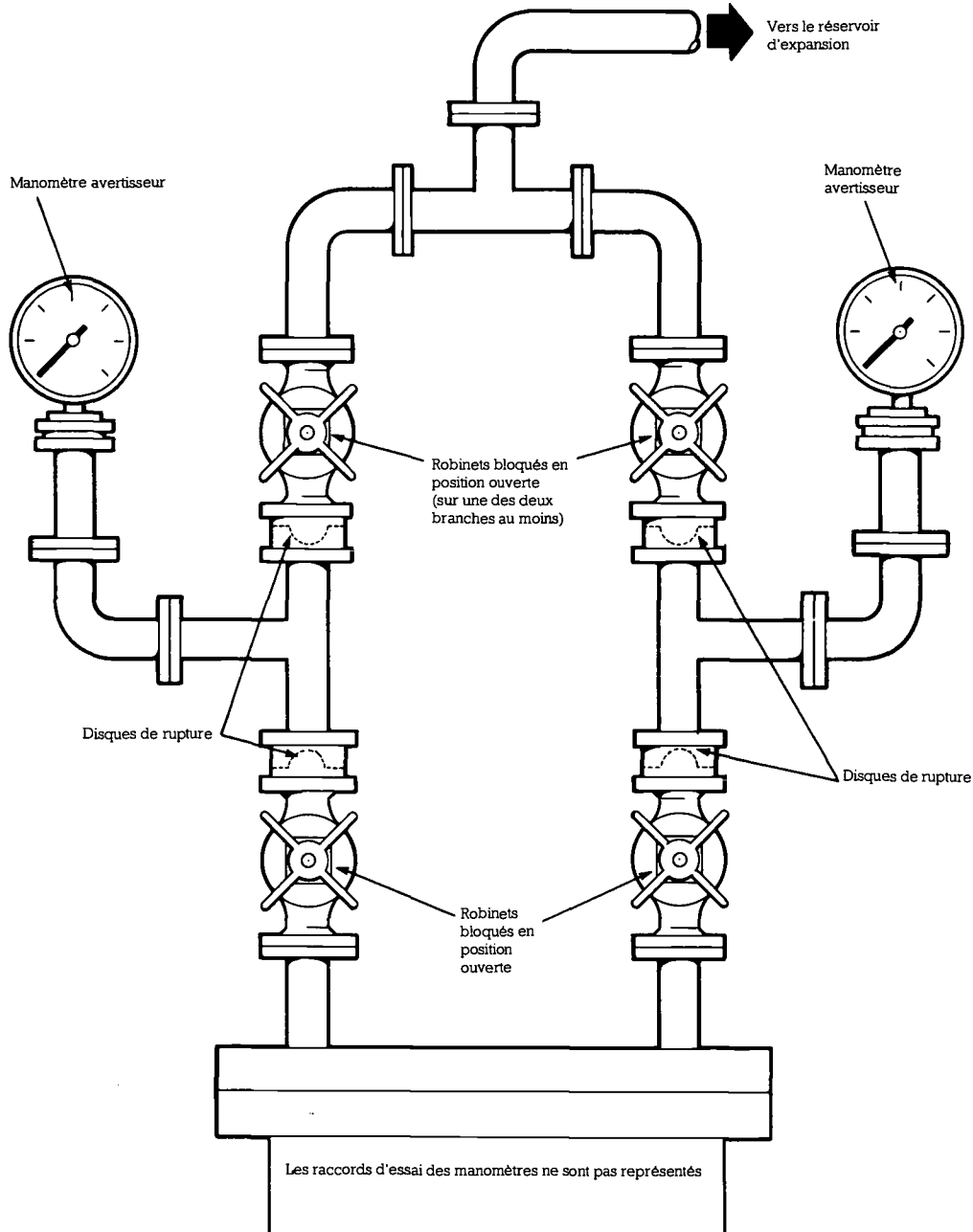
#### Préparation pour la visite de l'intérieur des réservoirs

129. Avant d'ouvrir un réservoir de stockage de chlore liquide pour accéder à l'intérieur, il faut le vider et le purger de façon à éliminer tout reste de chlore. Ces opérations devraient être régies par des consignes précises portant en particulier sur les points suivants:

- a) tous les raccordements de tuyauterie sur le réservoir devraient être coupés par enlèvement des manchons de raccordement ou pose de brides pleines;
- b) le couvercle du trou d'homme devrait être enlevé et le réservoir rempli d'eau additionnée de soude (carbonate de sodium commercial);
- c) l'eau devrait être siphonnée, et la composition de l'atmosphère à l'intérieur du réservoir devrait être contrôlée (teneur en chlore et en oxygène);
- d) la visite de l'intérieur du réservoir devrait être effectuée conformément aux règles établies pour l'entrée dans des espaces confinés.



Figure 5. Système de décompression. Système double; robinets bloqués en position ouverte

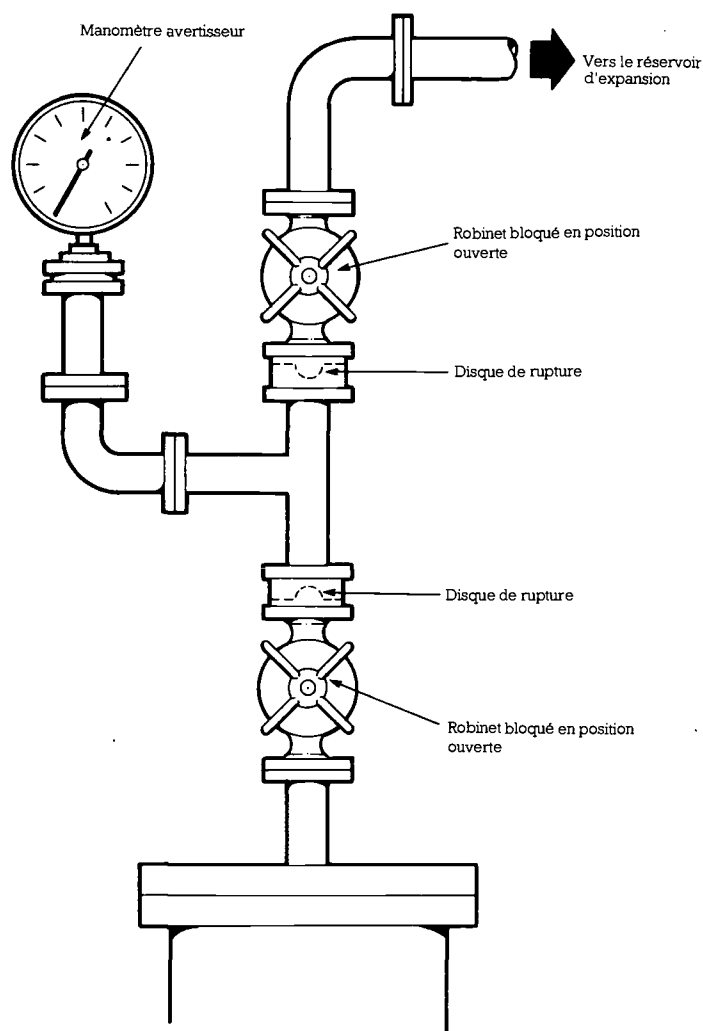


### Remise en service après la visite

130. Avant la remise en service des réservoirs, il convient:

- de sécher à fond le réservoir à l'aide d'air ou d'azote sec et de changer les joints d'étanchéité sur tous les raccords de tuyauterie;
- de remonter le couvercle du trou d'homme;
- de mettre le réservoir sous pression avec de l'air sec et de déterminer le point de rosée de l'air sortant;
- de remettre le réservoir sous pression avec de l'air sec et de répéter l'opération jusqu'à ce que le point de rosée de l'air sortant atteigne  $-40^{\circ}\text{C}$  (teneur en humidité inférieure à 80 ppm en poids).

**Figure 6. Système de décompression. Système simple; robinets bloqués en position ouverte**



131. Lors des inspections, tous les robinets installés sur le réservoir devraient être révisés, séchés et gardés séparément dans des sachets de plastique jusqu'au remontage. Les organes accessoires devraient également être révisés. Les disques de rupture devraient être changés à chaque inspection.

### Essais

132. Après le remontage de l'installation et le séchage du réservoir jusqu'au point prescrit, on procédera comme suit:

- épreuve de pression avec de l'air ou de l'azote sec à une pression de 8,5 bar environ;
- introduction d'une petite quantité de chlore dans

le réservoir et pressurisation à l'air ou à l'azote jusqu'à 8,5 bar environ;

- vérification de l'étanchéité de tous les joints à l'aide d'une bouteille d'ammoniaque. S'il n'a pas de signe de fuite, on laissera le réservoir sous pression pendant une douzaine d'heures et on répétera la vérification.

133. Après avoir été séchées à fond, toutes les tuyauteries branchées sur le réservoir seront soumises à une épreuve de pression à l'aide d'air ou d'azote comprimé avant introduction du chlore liquide dans l'installation.

## Transvasement du chlore liquide des véhicules-citernes dans les installations de stockage

### Généralités

134. Le transvasement du chlore liquide des véhicules-citernes dans les installations de stockage peut s'effectuer à l'aide soit d'air ou d'azote comprimé (gaz sec), soit de chlore gazeux sous pression. La première méthode est la plus simple; le chlore gazeux sous pression n'est utilisé en principe que dans des cas particuliers.

### Emploi d'air ou d'azote comprimé

135. La figure 3 donne le schéma d'une installation de transvasement du chlore liquide d'un véhicule-citerne dans un réservoir de stockage par refoulement à l'aide d'air ou d'azote comprimé. On trouvera ci-après des dispositions détaillées sur le procédé de transvasement et l'aménagement des installations, dispositions qui complètent les indications données dans les sections précédentes. Il convient d'adopter, dans chaque installation, un système qui réduise au minimum les risques de surpression et qui ait l'agrément de l'exploitant et du fournisseur.

136. Il importe d'utiliser, pour le transvasement du chlore, une installation d'air ou d'azote comprimé indépendante eu égard au risque de refoulement de chlore dans l'installation, refoulement qui pourrait, si celle-ci alimentait d'autres appareils ou équipements, y créer des conditions dangereuses (notamment, pour les installations d'air comprimé, dans les instruments pneumatiques).

137. Il est nécessaire, à la fin de l'opération de transvasement, d'évacuer le gaz présent dans un réservoir rempli par cette méthode vers un système d'absorption (voir paragr. 198 à 211), afin de ramener la pression à l'intérieur du réservoir à une valeur correspondant approximativement à la pression de vapeur du chlore à la température où il se trouve dans le réservoir. Sans cette précaution, le réservoir risque d'être mis en surpression lorsqu'il se réchauffe, ce qui peut déclencher le système de décompression.

### **Azote comprimé**

138. L'azote comprimé peut être produit par une unité d'évaporation d'azote liquide.

### **Air comprimé**

139. L'air comprimé utilisé pour l'opération de transvasement doit être exempt d'huile et avoir un point de rosée inférieur à  $-40^{\circ}\text{C}$ . L'air devrait être comprimé en principe à environ 10,5 bar (pression relative) à l'aide d'un compresseur sans huile (débit de  $1,5 \text{ m}^3/\text{min}$  à la pression atmosphérique). Si l'on utilise un compresseur lubrifié à l'huile, il doit être équipé d'un filtre à huile régulièrement entretenu.

140. L'air comprimé est refroidi et débarrassé ainsi d'une partie de son humidité, puis séché à l'aide d'un déshydrateur à régénération. Le point de rosée de l'air devrait être inférieur à  $-40^{\circ}\text{C}$ ; il devrait être surveillé en permanence à l'aide d'un dispositif qui déclenche une alarme quand il dépasse la valeur prédéterminée. Il est indispensable de remplacer ou de régénérer l'agent déshydratant conformément aux instructions du fabricant de matériel et du fournisseur de chlore.

141. Pour plus de sûreté, on peut installer, en aval du système de déshydratation, une colonne de chlorure de calcium anhydre. Pour les petites installations, l'utilisation exclusive d'un déshydrateur à chlorure de calcium anhydre peut être suffisante, mais il convient de vérifier régulièrement l'état de l'agent déshydratant.

### **Alimentation en air ou en azote comprimé**

142. L'air ou l'azote comprimé devrait être stocké dans un réservoir muni d'une soupape de sûreté réglée à 10,5 bar (pression relative) ou à la pression maximale pour laquelle l'installation est calculée si elle est inférieure à 10,5 bar. En aval du

réservoir, l'installation devrait comprendre un clapet de non-retour ou un robinet d'isolement actionné par la pression, suivi d'un détendeur fournissant le gaz à la pression requise pour le déchargement des véhicules-citernes (comme pour d'autres utilisations, par exemple la purge ou le séchage des tuyauteries ou des réservoirs, à condition que les précautions nécessaires soient prises pour empêcher tout retour de chlore dans le circuit d'air ou d'azote comprimé). Des manomètres devraient être installés en amont et en aval du détendeur afin qu'on puisse vérifier que la pression du gaz est bien supérieure à celle du chlore à refouler. Il importe aussi de prévoir des dispositifs de sécurité et d'alarme pour empêcher l'introduction de gaz à une pression excessive dans le système, notamment lorsqu'on utilise du gaz en bouteille fortement comprimé.

143. Le tuyau de déchargement du chlore liquide sur le véhicule citerne doit être raccordé à la tuyauterie fixe de l'installation de transvasement (voir paragr. 30 à 41).

144. Il convient d'installer, près de l'extrémité de la tuyauterie fixe de l'installation de transvasement, un manomètre, une ligne de décharge vers l'absorbeur et un raccordement pour le gaz comprimé, avec les robinets d'isolement nécessaires (voir figure 3).

145. La tuyauterie de transvasement du chlore liquide entre le véhicule-citerne et le réservoir de stockage devrait être aussi courte que possible. Si cette tuyauterie est assez longue, il convient de la protéger s'il y a lieu contre les risques de surpression (voir paragr. 47 à 53).

### **Emploi de chlore gazeux sous pression**

146. Il est possible de transvaser le chlore liquide d'un véhicule-citerne dans un réservoir de stockage en le refoulant à l'aide de chlore gazeux sec. Le gaz est généralement prélevé dans un réservoir de stockage, qui ne devrait cependant pas être celui dans lequel le chlore est transvasé. On peut obtenir du chlore gazeux à la pression requise, soit en comprimant les vapeurs de chlore d'un réservoir de stockage, soit par vaporisation de chlore liquide.

147. Toutefois, on aura toujours besoin d'une source d'air ou d'azote comprimé sec et exempt

d'huile pour sécher et purger les installations (voir plus haut).

### **Compression de vapeurs de chlore**

148. Le choix d'un compresseur pour la compression des vapeurs de chlore doit être étudié avec soin: il faut un matériel qui puisse fonctionner sans défaillance de façon intermittente. On peut utiliser aussi bien des compresseurs à membranes que des compresseurs à pistons à segments de carbone non lubrifiés, à condition d'assurer un entretien régulier.

149. Les compresseurs à membranes utilisés à cette fin sont du type à deux membranes en acier inoxydable séparées par un fluide inerte.

150. Les compresseurs à pistons à segments de carbone non lubrifiés devraient être purgés à l'air sec après chaque utilisation, pour prévenir les problèmes qui pourraient être causés par la présence, dans le compresseur, de chlore s'échappant à travers les garnitures d'étanchéité de l'arbre. Il convient, quand le compresseur fonctionne, de créer une surpression dans les garnitures d'étanchéité à l'aide d'un gaz comprimé inerte sec.

151. S'il est nécessaire de refroidir le compresseur, il convient de choisir de préférence un système de refroidissement à air. S'il faut opter pour un système utilisant un liquide de refroidissement, celui-ci devrait comporter un circuit avec échangeur de chaleur extérieur et dispositif de détection des fuites de chlore dans le fluide de refroidissement. Le refroidissement direct à l'eau devrait être proscrit.

152. Le compresseur doit comprendre un by-pass de retour qui permette de renvoyer le chlore au compresseur jusqu'à ce qu'il atteigne une température assez élevée pour exclure le risque de liquéfaction dans la tuyauterie de refoulement. La température du chlore devrait être surveillée à l'aide d'un thermomètre à alarme réglé sur une température maximale de 90°C.

153. La tuyauterie de refoulement du compresseur devrait être pourvue d'un dispositif de décompression réglé sur une pression maximale de refoulement prédéterminée.

### **Vaporisation de chlore liquide**

154. On peut aussi obtenir du chlore gazeux sous pression, non en comprimant des vapeurs de chlore d'un réservoir de stockage, mais par vaporisation de chlore liquide, comme il est indiqué ci-après.

155. L'installation comprend un réservoir de pompage dans lequel le chlore liquide est transvasé à partir d'un réservoir de stockage. Le réservoir de pompage, qui peut avoir une capacité assez faible, alimente une pompe (voir paragr. 164) grâce à une tuyauterie montée sur un piquage réalisé au fond du réservoir. Le chlore liquide est envoyé par la pompe dans un vaporiseur fonctionnant à la pression requise. Le chlore gazeux ainsi obtenu peut être utilisé pour transvaser le chlore liquide, par refoulement, d'un véhicule-citerne dans un réservoir de stockage.

156. Il importe de réduire au minimum tout rejet de chlore dans l'environnement en cas de fuite au niveau du raccordement de la tuyauterie au réservoir de pompage. Pour cela, on peut installer un robinet d'isolement à l'intérieur du réservoir ou vidanger le contenu de celui-ci dans un réservoir vide en cas d'incident.

### **Transvasement du chlore des réservoirs de stockage vers les points d'utilisation**

#### **Transvasement du chlore liquide**

157. Le chlore liquide peut être transvasé des réservoirs de stockage vers les points d'utilisation:

- a) par refoulement, grâce à la seule pression de vapeur du chlore liquide;
- b) par refoulement, à l'aide d'un gaz comprimé sec;
- c) par pompage, à l'aide d'une pompe spécialement conçue pour le chlore liquide, après transvasement du réservoir de stockage dans un réservoir de pompage séparé;
- d) par pompage, à partir du réservoir de stockage, au moyen d'une pompe immergée installée à l'intérieur de celui-ci.

Les méthodes a) et b) sont en principe les plus indiquées dans les installations qui utilisent le chlore liquide.

158. Dans des cas particuliers et d'accord avec le fournisseur, il est possible de transvaser le chlore liquide d'un véhicule-citerne directement vers le point d'utilisation ou dans un vaporiseur, mais il s'agit là d'un procédé spécial, d'application rare.

### **Transvasement du chlore gazeux**

159. En dehors de l'opération de dégazage des réservoirs (vers le système d'absorption), il n'est pas possible, pour des raisons de sécurité, de décharger du chlore gazeux directement d'un véhicule-citerne vers le point d'utilisation dans l'entreprise, à cause du risque d'accumulation de trichlorure d'azote, substance explosive présente à l'état de traces dans le chlore, ou encore du risque de refoulement d'humidité ou d'autres substances dans le véhicule-citerne dans des circonstances anormales échappant au contrôle du fournisseur.

### **Précautions**

160. Il faut qu'il soit possible d'arrêter rapidement l'écoulement du chlore liquide du réservoir de stockage en cas d'incident au point d'utilisation (voir paragr. 89). On veillera, s'il y a lieu, à protéger les tuyauteries de grande longueur amenant le chlore liquide au point d'utilisation contre le risque de surpression (voir paragr. 47 à 53).

161. Il importe de réduire au minimum le risque de refoulement de solution aqueuse ou de liquide du système d'absorption ou des points d'utilisation en amont. Le problème devra être étudié soigneusement au stade de la conception des installations.

### **Transvasement du chlore liquide: procédés**

#### **Refoulement grâce à la pression de vapeur du chlore liquide**

162. Pour de nombreuses applications, la pression de vapeur du chlore liquide dans les réservoirs de stockage est suffisante pour assurer le transvasement vers les points d'utilisation. On peut toutefois rencontrer des problèmes par temps froid dans les installations en plein air. Une fois le réservoir vide de chlore liquide, on pourra, le cas échéant, utiliser directement dans les installations une partie du gaz présent dans le réservoir. Il convient cependant de maintenir toujours, dans les

réservoirs de stockage, une pression positive minimale dont la valeur devrait être fixée pour chaque installation.

#### **Refoulement à l'aide d'un gaz comprimé sec**

163. Le transvasement du chlore liquide par refoulement des réservoirs de stockage vers les points d'utilisation à l'aide d'un gaz comprimé est une opération assez simple. La façon de procéder et les précautions à prendre sont semblables à celles qui sont décrites aux paragraphes 135-142.

#### **Pompage à partir d'un réservoir de pompage séparé**

164. Des pompes en enceinte étanche ont été mises au point pour le pompage du chlore liquide. On utilise ce système lorsqu'il faut amener le chlore au point d'utilisation à une pression relativement élevée (supérieure à 7 bar) ou lorsqu'il n'est pas possible d'adopter le procédé de refoulement à l'aide d'un gaz comprimé sec. Le chlore liquide est d'abord transvasé du réservoir de stockage dans un réservoir de pompage. Il s'agit en principe d'un réservoir à pression muni d'un piquage dans la partie basse. Ce réservoir alimente la pompe par une tuyauterie. Il convient d'installer un robinet à commande à distance dans le réservoir de pompage ou entre le réservoir et la pompe, de façon à pouvoir couper l'arrivée du chlore en cas d'incident. Lors de l'étude du système, il faut veiller à ce que la hauteur nette d'aspiration corresponde aux spécifications minimales de la pompe.

#### **Pompage à l'aide d'une pompe immergée**

165. On utilise aussi, pour transvaser le chlore liquide des réservoirs de stockage vers les points d'utilisation, des pompes immergées installées à l'intérieur des réservoirs. C'est une solution qu'il convient de discuter de façon approfondie avec le fournisseur de chlore et le fabricant de matériel pour s'assurer qu'elle donnera satisfaction.

### **Vaporiseurs**

166. On a recours, pour transformer le chlore liquide en gaz, à des vaporiseurs.

167. Les installations qui utilisent peu de chlore peuvent être alimentées directement par du chlore en bouteilles. Lorsque la consommation est importante, il faut employer des vaporiseurs. Quand

le chlore est stocké en grande quantité dans des réservoirs, il faut toujours utiliser des vaporiseurs pour assurer une alimentation en gaz régulière et constante. Il n'est pas indiqué de soutirer du chlore gazeux de la phase vapeur des réservoirs en raison des risques que cette méthode comporte: retour de fluides des installations dans le réservoir, alimentation en gaz irrégulière, accumulation d'impuretés dangereuses peu volatiles telles que le trichlorure d'azote dans le réservoir.

168. Les vaporiseurs sont très utilisés dans les installations de traitement des eaux (notamment pour la stérilisation de l'eau potable et pour l'élimination des herbes et des algues dans les eaux de refroidissement). Ces appareils sont souvent fournis avec d'autres matériels (de dosage ou d'analyse). Pour les installations de traitement des eaux, on emploie habituellement des vaporiseurs du type autorégulateur, constitués par un cylindre de vaporisation placé dans une enveloppe remplie d'eau chauffée par une résistance électrique. Dans les installations qui utilisent du chlore gazeux en quantité importante ou très variable, le chauffage à la vapeur se recommande par sa souplesse.

### **Système de chauffage**

169. Le système de chauffage des vaporiseurs devrait minimiser le risque de corrosion et les problèmes que pourrait entraîner toute défaillance de l'appareil. On utilise actuellement trois principaux systèmes de chauffage: à l'eau chaude, à la vapeur, au moyen d'un fluide caloporteur autre que l'eau (en circuit fermé). Le chauffage direct à l'électricité est à proscrire, car il risque d'engendrer des températures excessives en certains points.

### **Chauffage à l'eau chaude**

C'est le système de chauffage le plus courant. La température normale de fonctionnement (60–70°C) est nettement inférieure à celle à laquelle il peut y avoir risque de réaction importante entre le chlore sec et l'acier au carbone.

### **Chauffage à la vapeur**

Le système devrait fonctionner avec de la vapeur saturée à une pression limitée, pour prévenir le risque de chauffage excessif, notamment si le vaporiseur est construit en acier doux. La moindre pénétration de chlore dans des éléments ou des

tuyaux contenant de l'eau chaude ou de la vapeur entraîne une corrosion très rapide de l'acier.

### **Chauffage au moyen d'un fluide caloporteur autre que l'eau (en circuit fermé)**

On peut utiliser un fluide caloporteur relativement inerte à l'égard du chlore, chauffé électriquement ou à la vapeur. Les fluides disponibles (par exemple l'hexachlorobutadiène) étant eux-mêmes dangereux, on accepte en principe les risques que présente l'utilisation de l'eau en tant que fluide caloporteur, avec des mesures de sécurité appropriées.

### **Types de vaporiseurs**

170. Il existe quatre grands types de vaporiseurs (pour une description plus détaillée, voir note annexe 5).

#### **Vaporiseurs tubulaires verticaux**

Ces appareils ressemblent aux échangeurs de chaleur courants. C'est généralement le chlore qui circule dans les tubes. Autres types: le vaporiseur communément utilisé dans les installations de traitement des eaux (cylindre de vaporisation alimenté en chlore liquide par un tuyau plongeant au fond du cylindre, lequel est placé dans une enveloppe remplie d'eau chaude) et le modèle tubulaire où c'est le fluide caloporteur qui circule dans les tubes, le chlore étant contenu dans la cuve.

#### **Vaporiseurs à serpentins**

Le chlore est vaporisé à l'intérieur d'un serpentins en acier placé dans un bain de vapeur humide ou d'eau chauffée à la vapeur ou à l'électricité.

#### **Vaporiseurs à tubes coaxiaux**

La vaporisation s'opère dans un tube, d'un diamètre de 100 mm habituellement, placé dans un tube de diamètre plus grand où circule de la vapeur.

#### **Vaporiseurs du type chaudière**

Ils comportent un système de chauffage (vapeur ou autre fluide caloporteur) installé dans un réservoir contenant du chlore liquide.

## Régulation du débit

### Vaporiseurs à autorégulation

171. Dans certains modèles de vaporiseurs, le chlore liquide arrive dans le récipient de vaporisation dans la partie basse de celui-ci, et le gaz est prélevé dans la partie haute à travers un robinet. Lorsque la consommation de gaz est forte, le niveau du chlore liquide s'élève dans l'appareil, ce qui a pour effet d'accroître la surface d'échange thermique. Lorsque la demande est faible, la pression de vapeur refoule le chlore liquide du vaporiseur dans le réservoir, ce qui réduit le débit d'évaporation. Ce système est employé généralement dans les vaporiseurs de capacité relativement faible: vaporiseurs tubulaires verticaux, vaporiseurs à serpentins ou à tubes coaxiaux.

### Vaporiseurs à niveau constant

172. Dans d'autres modèles de vaporiseurs, qui ne se rencontrent généralement que dans les installations de grande capacité, on renonce à certains avantages du système d'autorégulation pour obtenir un débit beaucoup plus important. Ces appareils doivent être équipés d'un système de régulation pour maintenir un niveau constant de chlore liquide, avec détecteur-avertisseur de niveaux haut et bas. Il peut arriver que le volume de chlore liquide ne se comporte pas de façon parfaitement homogène et qu'il y ait, plus que dans les vaporiseurs à autorégulation, un risque de concentration des impuretés peu volatiles; il peut donc être nécessaire de prévoir un circuit de purge et de vaporisation distinct pour éliminer périodiquement les résidus. La conception et l'exploitation de ces vaporiseurs de grande capacité constituent un domaine technique particulier et requièrent des consultations entre l'utilisateur, le fabricant de matériel et le fournisseur de chlore.

### Installation

173. Les vaporiseurs devraient être installés dans la zone de stockage ou dans une zone voisine, aussi près que possible des réservoirs pour limiter la longueur des tuyauteries transportant le chlore liquide. Le changement de source d'alimentation – lorsqu'il faut passer d'un réservoir de stockage à un autre – peut perturber le fonctionnement du système de vaporisation; pour réduire ce risque, il est souhaitable que la distance ne soit pas trop

grande et reste inférieure à 5 m. Toutefois, il convient de ménager, entre les réservoirs de stockage et l'installation de vaporisation, un espace suffisant pour permettre l'accès et l'intervention rapide en cas d'incident.

### Sécurité

174. La quantité de chlore contenue dans les systèmes de vaporisation est relativement faible par rapport à celle qui est habituellement présente dans les réservoirs de stockage. Néanmoins, le système devrait être conçu de façon qu'il soit possible de détecter et de réparer rapidement toute défaillance et de réduire les fuites de chlore au minimum.

### Risques

175. Les risques que peuvent présenter les vaporiseurs de chlore sont liés à leur fonction: transmettre de la chaleur à un gaz toxique et corrosif liquéfié sous pression. Ce sont principalement les risques suivants:

- piqûres ou perforations, sources de petites fuites qui entraînent une corrosion rapide et une perte croissante de chlore;
- corrosion rapide en cas de pénétration d'humidité dans le système;
- concentration des impuretés présentes dans le chlore, telles que le trichlorure d'azote, substance explosive, lors de l'évaporation;
- reflux de fluides (eau, solvants, réactifs) des installations situées en aval dans le vaporiseur (à la suite d'une chute de pression dans le vaporiseur, d'une surpression dans les installations, ou encore de la dissolution de chlore gazeux dans le fluide); la présence d'un tel fluide dans le vaporiseur risque de provoquer un phénomène de corrosion ou une réaction violente;
- entraînement de chlore liquide (sous forme d'écoulements ou de gouttelettes) dans la tuyauterie de chlore gazeux, voire dans les installations situées en aval; suivant la nature des matériaux utilisés ou des processus mis en œuvre, cela peut causer des dommages ou engendrer d'autres risques;

- chauffage excessif du vaporiseur, qui peut engendrer une surpression de gaz dans les installations, la pression de vapeur du chlore augmentant très vite avec la température;
- dilatation du chlore liquide lors du chauffage, qui peut engendrer d'importantes forces hydrauliques si le système est fermé et complètement rempli de liquide.

176. Ces risques, regroupés selon la nature des mesures de prévention qu'ils appellent, sont examinés de façon plus détaillée ci-après.

### **Noyage du vaporiseur, entraînement du chlore liquide en aval**

177. Le noyage est dû à une arrivée excessive de chlore liquide, qui remplit le vaporiseur. Il peut se produire en cas de sollicitation trop forte de l'appareil (la demande de chlore gazeux dépasse la capacité de celui-ci), d'insuffisance du chauffage ou de dégradation des surfaces d'échange thermique. L'appareil peut être équipé d'un indicateur de débit de gaz qui permet d'en surveiller la marche et de détecter toute augmentation anormale de la demande de gaz.

178. Dans les vaporiseurs à autorégulation, si la température du fluide caloporteur est trop basse, le gaz risque d'être insuffisamment surchauffé, et du chlore liquide risque même de passer par le vaporiseur. La même chose peut arriver, dans les modèles à cuve d'eau chaude, si le niveau de l'eau est trop bas. A l'extrême, si le chlore liquide arrive au vaporiseur et que le chauffage est défaillant, il risque de se former, sur les surfaces d'échange thermique, une couche de glace qui peut les endommager gravement.

179. La température du fluide caloporteur est généralement réglée par thermostat. En cas de noyage du vaporiseur, du chlore liquide peut être entraîné dans la tuyauterie de chlore gazeux et engendrer des risques (suivant la nature des matériaux utilisés et des processus mis en œuvre). L'installation devrait comprendre un système de contrôle et d'alarme qui signale immédiatement toute situation de ce genre, à moins qu'une étude approfondie de l'installation et du processus n'ait démontré que cela n'était pas nécessaire. Le système pourra être conçu de façon à couper l'alimentation du vaporiseur en chlore liquide en cas

de chute de la température ou, pour les vaporiseurs à autorégulation exclusivement, à fermer la sortie de chlore gazeux, ce qui provoquera le refoulement du chlore liquide dans le réservoir de stockage.

180. L'installation pourra être équipée d'un dispositif collecteur pour empêcher la pénétration de gouttelettes ou de brouillard de chlore dans les tuyauteries de chlore gazeux et prévenir la détérioration de celles-ci. Il y a toujours intérêt, du point de vue de la sécurité, à monter un tel collecteur si le passage de chlore liquide est de nature à perturber les processus mis en œuvre en aval. Dans tous les cas où il faut absolument prévenir ce risque, il est vivement conseillé d'installer un détecteur-avertisseur de température basse à proximité du collecteur.

### **Corrosion accélérée et réactions rapides à température élevée**

181. Si la température des tuyaux d'acier renfermant du chlore est trop élevée, il risque de se produire une réaction chimique rapide entre le chlore et l'acier. La température ne devrait en principe pas dépasser 120°C. Pour les vaporiseurs à éléments d'acier galvanisé plongés dans un bain d'eau chaude, il faut limiter la température à 70°C environ, afin d'éviter la corrosion rapide des surfaces d'échange thermique côté eau. S'il faut appliquer des températures plus élevées, il conviendra de choisir au besoin des vaporiseurs en nickel ou en alliage au nickel (tels que le Monel 400 ou l'Inconel); il faudra peut-être aussi que les tuyauteries de chlore gazeux (en aval) puissent supporter une température supérieure aux températures habituelles.

182. La température est généralement réglée par thermostat. Dans les vaporiseurs à vapeur, elle peut être surveillée par des détecteurs de pression haute et basse à l'admission de la vapeur. La pression de la vapeur devrait être limitée à 1,05 bar (équivalent à 120°C); la vapeur doit être saturée, mais non surchauffée.

### **Surpression**

183. Le risque de surpression pose généralement un problème de sécurité important. Il convient de prévoir une alarme de haute pression déclenchée par le manomètre ou par un manocontact séparé. Ce dispositif doit faire l'objet



d'un entretien particulièrement soigné et d'essais réguliers. La température de fonctionnement des vaporiseurs étant communément de 70°C, la pression de vapeur du chlore est alors supérieure à 20 bar. Il importe donc de prendre les précautions suivantes:

- a) il faut absolument éviter que le vaporiseur forme un système clos alors qu'il est plein; il faut notamment observer strictement les consignes écrites établies pour la mise à l'arrêt;
- b) il faut absolument éviter de couper accidentellement le circuit du vaporiseur à la fois en amont et en aval de l'appareil; il convient de veiller à prévenir ce risque dans la procédure de fermeture des robinets de sécurité en cas d'incident;
- c) le système de régulation doit empêcher tout dépassement de la pression de service maximale pour laquelle l'enveloppe et la tuyauterie du vaporiseur sont conçues.

Les vaporiseurs de chlore sont rarement équipés eux-mêmes d'un dispositif de décompression; il est donc indispensable d'établir des procédures strictes pour que les conditions a) et b) soient remplies.

#### **Reflux à partir des installations situées en aval**

184. On peut monter, sur la tuyauterie de sortie du gaz, un détecteur-avertisseur de pression basse indiquant toute chute de l'alimentation en gaz des installations situées en aval. Du point de vue de la sécurité, toutefois, une diminution de la pression n'est grave que dans la mesure où il y a risque de reflux de fluides (par exemple reflux d'eau d'un appareil de chloration) des installations situées en aval, vers le vaporiseur ou le réservoir de stockage, incident qui peut provoquer des réactions localisées. Il convient de prévenir autant que possible ce risque en étudiant soigneusement le problème au stade de la conception des installations.

185. Dans les unités de chloration de l'eau, le système de régulation comprend en général une série de clapets empêchant le reflux par aspiration ou par refoulement. Ces systèmes sont de différents types, et il importe de s'assurer qu'ils offrent une protection convenable, par exemple en cas de fuite et de reflux au niveau du clapet anti-retour de

l'éjecteur; ils doivent être fréquemment vérifiés et entretenus. Des précautions analogues contre le risque de reflux de fluides par aspiration ou par refoulement à partir des installations situées en aval doivent être prises dans les usines chimiques.

186. Il convient de prévoir un dispositif d'alarme quand la pression du gaz tombe au-dessous de la valeur minimale de sécurité; ce dispositif pourra permettre, le cas échéant, de déclencher la purge du système à l'aide d'air sec ou d'un autre gaz approprié.

#### **Isolement des vaporiseurs (en service normal ou en cas d'incident)**

187. Il doit être possible d'isoler les vaporiseurs pour des opérations d'entretien ou d'autres interventions courantes, et aussi en cas d'incident (par exemple en cas de fuite au vaporiseur ou de défectuosité dans la tuyauterie de gaz en aval). L'installation devrait comprendre, en plus d'un robinet à actionnement manuel à l'arrivée du chlore liquide et d'un autre à la sortie du gaz, des robinets à commande à distance à l'entrée et à la sortie. Elle comprend en général un détendeur ou un régulateur de débit à la sortie (voir paragr. 191), qui peut parfois tenir lieu de robinet d'isolement à commande à distance.

188. Pour le cas où les robinets ne fonctionneraient pas (ou ne seraient pas actionnés) en cas d'incident, il est utile de monter, pour plus de sûreté, un réducteur de débit ou un clapet de débit excessif sur la tuyauterie d'alimentation en chlore liquide (le plus souvent à la sortie du réservoir de stockage), de façon à limiter la fuite de chlore qui pourrait se produire en cas de défaillance grave de l'installation. Les possibilités de montage d'un dispositif de ce genre dépendront de la conception exacte de l'installation.

189. L'isolement total d'un vaporiseur comporte des risques considérables (voir paragr. 183). C'est notamment le cas si le vaporiseur se trouve alors rempli de chlore liquide (par exemple si les robinets amont et aval sont fermés en même temps en raison d'une fuite importante de la tuyauterie de gaz). S'il y a une phase gazeuse au-dessus du niveau de chlore liquide au moment où le vaporiseur est isolé, la pression à l'intérieur de l'appareil atteindra celle du chlore à la température du fluide caloporteur; il faut donc que l'installation – vaporiseur, tuyauterie,

robinetterie – puisse résister à cette pression ou qu'elle comporte un système de décompression et de décharge du chlore en un endroit sûr (on trouve un système de décompression sur les vaporiseurs dans les installations à grand débit de l'industrie chimique, mais pas nécessairement dans les installations où le chlore n'est pas utilisé dans des processus chimiques). Il ne faut pas que le système de sécurité provoque la fermeture simultanée des robinets automatiques amont et aval en cas d'alarme; on peut par exemple étudier un système qui commande la fermeture du robinet sur la tuyauterie de sortie du gaz en cas de fonctionnement défectueux de l'installation (chute de la pression du gaz, incident dans les installations situées en aval, chute de la température), et la fermeture du robinet sur la tuyauterie d'arrivée du chlore liquide en cas de fuite de chlore (par exemple grâce à des détecteurs montés à proximité du vaporiseur et du réservoir de stockage ou à des dispositifs manuels). Il y a intérêt du point de vue de la sécurité, s'il y a du personnel en permanence sur les lieux, à ménager une possibilité d'intervention manuelle plutôt que de s'en remettre à un système entièrement automatique; cependant, il faut veiller à ce que cela n'entraîne pas un retard dans les interventions en cas d'alarme.

190. Malgré les précautions indiquées ci-dessus, le risque d'isolement du vaporiseur subsiste. Les installations ne comprennent pas en principe de dispositifs qui interdisent la fermeture du robinet aval si le robinet amont est fermé, ou l'inverse. En effet, il faut pouvoir, occasionnellement, fermer les deux robinets pour les opérations de nettoyage ou de révision. Il est donc impératif, pour la sécurité, d'établir des procédures d'entretien et d'exploitation parfaitement sûres.

### **Appareils de réglage de la pression**

191. Tous les modèles de vaporiseurs comportent une surchauffe de la vapeur dans le vaporiseur ou dans une unité séparée. Le but est d'éviter que le chlore gazeux qui sort de l'appareil ne se reliquéfie dans la robinetterie, ce qui risquerait de provoquer des variations de pression et des problèmes d'érosion localisés. On abaisse la pression du chlore gazeux en aval dans le système grâce à un système de régulation automatique approprié, par exemple un système de réglage de la pression.

### **Corrosion**

192. Il importe de procéder à des inspections régulières conformément aux dispositions établies par les services d'inspection technique. Avant d'être remis en service, le matériel devrait être séché à fond, la présence d'humidité risquant d'entraîner une corrosion rapide. La procédure à suivre devrait être fixée par des consignes écrites.

193. Les vaporiseurs doivent faire l'objet d'inspections et d'interventions d'entretien plus fréquentes que les réservoirs de stockage, car ils fonctionnent à une température plus élevée, dans des conditions qui favorisent la corrosion, et à cause du risque de formation de dépôts solides. La moindre fuite de chlore dans les surfaces d'échange thermique risque d'avoir des conséquences graves en raison de la nature extrêmement corrosive du mélange de chlore et d'humidité. Il est possible de régler la pression de la vapeur ou de l'eau chaude par rapport à la pression à laquelle le chlore liquide est envoyé dans le vaporiseur de façon à prévenir dans une très large mesure le risque de pénétration d'eau dans la tuyauterie de chlore liquide. Toutefois, le risque de corrosion rapide des surfaces du vaporiseur subsiste, ce qui pourrait provoquer de graves fuites de chlore. Il n'est pas possible de constater directement la corrosion des surfaces d'échange thermique.

194. Il appartient aux services d'inspection compétents de fixer la fréquence des inspections requises pour chaque installation. Pour de petits vaporiseurs et un service modéré, on peut prévoir une inspection visuelle, extérieure et intérieure, de l'enveloppe du vaporiseur une fois par an ou après traitement de 250 tonnes de chlore (en moins d'un an). Les vaporiseurs à serpentin font habituellement l'objet d'une inspection rigoureuse tous les deux ans, et les serpentins sont changés s'ils présentent des piqûres importantes.

195. Pour protéger l'enveloppe et les tubes des vaporiseurs contre la corrosion par l'eau, on a souvent recours à une protection cathodique. Les anodes devraient en principe être contrôlées visuellement à des intervalles de trois à six mois, compte tenu de la vitesse à laquelle elles s'usent ordinairement et de la fréquence à laquelle elles doivent être changées. Si l'on constate que les

anodes sont complètement usées, il faut procéder à l'inspection complète du vaporiseur.

196. La formation de dépôts solides réduit l'efficacité des vaporiseurs et peut aussi accélérer la corrosion. Les vaporiseurs doivent donc être régulièrement nettoyés puis séchés. Un nettoyage soigneux minimisera la corrosion. Pour les vaporiseurs constitués par un cylindre de vaporisation plongé dans un bain d'eau chaude (voir plus loin, note 5, figure 1 c)), il faut, en règle générale, changer le cylindre après cinq ans d'utilisation. On pourra au besoin soumettre le cylindre usagé à un service d'inspection qui, après contrôle, pourra en autoriser la réutilisation le cas échéant.

197. Il convient de contrôler l'eau de la cuve ou le condensat qui s'écoule de l'appareil par mesure du potentiel d'oxydoréduction ou de la conductivité afin de détecter les éventuelles fuites de chlore. C'est un moyen de déceler précocement les petites fuites, moyen particulièrement recommandé si l'appareil ne comporte pas de dispositif de protection cathodique bien entretenu.

### **Système d'absorption**

198. Il importe, dans toutes les entreprises qui utilisent du chlore, de mettre en place un système d'absorption où il soit possible d'évacuer le chlore en cas d'incident en évitant tout rejet dans l'environnement.

199. Les mesures à prendre pour prévenir les rejets de chlore dans les usines soumises à l'obligation de notification devraient être étudiées avec les services compétents de surveillance de la pollution atmosphérique.

200. Dans certaines installations, la nature des opérations ou des processus permet d'absorber le chlore sans aménager une unité spéciale d'absorption. Toutefois, il faut alors s'assurer que, pendant les périodes d'entretien, on dispose toujours d'une capacité d'absorption suffisante pour recevoir les éventuels dégagements de chlore. Les installations où il n'est pas indispensable d'avoir une unité d'absorption spéciale sont, par exemple, celles qui traitent des eaux de refroidissement et celles qui produisent des liquides de blanchiment.

201. Dans la plupart des installations de stockage, il faut au contraire prévoir une unité

spéciale d'absorption et la maintenir toujours en état de fonctionnement. Le système d'absorption doit contenir une quantité de réactif suffisante pour faire face aux incidents prévisibles.

202. C'est à l'exploitant qu'il incombe d'installer un système approprié d'absorption, mais il devrait consulter le fournisseur de chlore au sujet du système envisagé.

203. Il convient de veiller à équiper le système d'absorption de tous les dispositifs de contrôle et d'alarme nécessaires et d'étudier avec soin le système d'élimination des effluents.

204. Il convient de prévoir le matériel de réserve nécessaire pour maintenir le système d'absorption en état de fonctionner en cas de panne et pendant les révisions périodiques. Cela vaut notamment pour les pompes, les ventilateurs et les instruments essentiels, qui devraient être branchés à la fois sur le secteur et sur le réseau de secours de l'entreprise (s'il y en a un). Lorsque le système d'absorption doit être en permanence en état de fonctionner (par exemple dans les installations desservant des réacteurs), il est indispensable de prévoir un générateur électrique et des pompes de secours (ou une alimentation par gravité en solution réactive).

### **Système collecteur**

205. Les tuyauteries de décharge des gaz (contenant du chlore sec) peuvent être en acier doux, mais il faut empêcher tout retour d'humidité à partir du système d'absorption (phénomène qui peut se produire en cas de décharges intermittentes).

206. Les tuyauteries de décharge des systèmes de décompression, qui en principe ne servent que rarement, peuvent être protégées contre le retour d'humidité par des membranes spéciales. Dans certains cas, il peut être utile d'installer un système de purge des tuyauteries au moyen d'un gaz sec.

207. Lorsqu'il y a risque de pénétration d'humidité, il faut employer des tuyauteries en acier au carbone avec revêtement intérieur de caoutchouc ou de plastique, ou des tuyauteries en plastique résistant au chlore humide (par exemple en PVC, en Hetron ou en Atlac 382) ou en verre.

208. S'il existe un risque d'entraînement de chlore liquide, les tuyauteries devraient être équipées de séparateurs pour prévenir toute surpression ou toute surcharge du système d'absorption. Ces séparateurs sont munis d'un thermomètre-avertisseur qui signale toute arrivée de chlore liquide dans le séparateur. S'il y a un risque d'entraînement de chlore liquide, il ne faut pas utiliser des tuyauteries en matière plastique. Le diamètre des tuyauteries devrait être déterminé en fonction du débit maximal possible dans les conditions les plus défavorables.

### **Dispositif d'absorption**

209. Les gaz évacués sont neutralisés dans des absorbeurs qui peuvent être de différents types: colonnes à garnissage, éjecteurs, absorbeurs à aspersion. Il peut y avoir intérêt à choisir un système qui exerce un effet d'aspiration dans l'installation.

210. Le réactif qui convient le mieux pour l'absorption du chlore contenu dans les gaz rejetés est une solution de soude caustique. La concentration ne devrait pas dépasser 21 pour cent de NaOH pour prévenir le risque de dépôt de sel dans le système et d'obstruction.

211. Dans les installations où il n'est pas possible de stocker une solution de soude caustique mais où l'on dispose de chaux ou de soude du commerce (carbonate de sodium), on peut utiliser une suspension de chaux ou une solution de soude.

### **Instruments de contrôle et d'alarme**

212. Il est indispensable de détecter rapidement toute défaillance du système d'absorption. Pour cela, il importe d'équiper celui-ci d'instruments de contrôle et d'alarme appropriés. Les deux principaux risques sont l'arrêt de la circulation de gaz et l'épuisement chimique de la solution réactive.

213. On peut installer un manomètre-avertisseur qui signale toute augmentation anormale ou au contraire tout arrêt de la circulation de gaz dans le système d'absorption.

214. A la sortie de l'absorbeur, on peut installer un détecteur de chlore.

### **Elimination des effluents**

215. Il convient d'étudier avec soin le mode d'élimination du liquide résiduaire du système d'absorption, la présence d'hypochlorite pouvant créer des problèmes. Si le liquide est évacué sans traitement préalable, il importe d'examiner les risques d'interaction avec d'autres effluents (ainsi, un mélange avec un effluent acide peut entraîner la formation de chlore, un mélange avec un effluent ammoniacal la formation de trichlorure d'azote).

216. Dans certains cas, il peut être nécessaire de traiter les effluents pour ramener la teneur en hypochlorite à un niveau acceptable; on peut le faire au moyen de sulfite de sodium.

### **Equipement de protection et matériel d'intervention en cas d'accident <sup>1</sup>**

#### **Appareils respiratoires d'usage courant**

217. Dans les grandes installations mettant en œuvre du chlore, le personnel porte fréquemment des demi-masques à cartouche filtrante lorsqu'il doit quitter rapidement les lieux en cas de rejet accidentel de chlore. Ces masques ne doivent pas être utilisés lors de travaux d'entretien ou d'autres opérations de routine comportant le risque d'un rejet de chlore gazeux.

218. Les appareils à cartouche filtrante conviennent à certains travaux de routine et devraient être portés ou prêts à l'emploi partout où de faibles concentrations de chlore gazeux risquent de se produire. C'est notamment le cas lors du branchement ou du débranchement de récipients de transport ou de l'ouverture, après leur purge, d'installations ayant contenu du chlore. Ces appareils ne devraient pas être utilisés lorsqu'il existe un risque d'échappement de chlore liquide; il convient, dans ce cas, d'avoir recours à des appareils respiratoires autonomes. Si du chlore gazeux risque de se dégager dans un espace confiné ou si les voies d'accès ou d'évacuation ont une section restreinte, il faut se servir d'appareils autonomes (ou à adduction d'air comprimé) conformes aux normes en vigueur.

219. Les personnes appelées à travailler dans les zones ou dans les circonstances mentionnées

<sup>1</sup> Voir aussi les paragraphes 247 à 263 pour les mesures à prendre en cas d'accident.

ci-dessus doivent être formées à l'utilisation des appareils respiratoires et informées des restrictions qui s'appliquent à leur emploi. Certaines situations imposent l'utilisation d'appareils respiratoires homologués. Des dispositions appropriées doivent être prises pour assurer l'entretien des appareils respiratoires mis à disposition.

### **Appareils respiratoires pour les interventions en cas d'accident**

220. On prévoira un matériel d'intervention approprié partout où il existe une possibilité de fuite de chlore gazeux. Le nombre et l'emplacement des appareils feront l'objet d'une attention particulière. Le matériel d'intervention devrait être contrôlé et entretenu de manière régulière afin d'assurer son bon état.

221. Si les appareils à cartouche filtrante conviennent pour des opérations de routine, telles que le dépotage, ou en présence de faibles concentrations de chlore gazeux, leur emploi est contre-indiqué dans le cas de fuites importantes contre lesquelles on peut se prémunir à l'aide des appareils respiratoires ci-après:

- a) appareils autonomes ayant une réserve d'air de trente à quarante minutes et permettant d'effectuer des missions de sauvetage ou des interventions en cas d'accident pour isoler, par exemple, une installation en présence d'une concentration élevée de chlore gazeux. Ces appareils sont équipés d'un avertisseur sonore qui se déclenche lorsque la pression des bouteilles d'air tombe au-dessous d'une valeur fixée d'avance, ce qui permet au personnel de quitter la zone contaminée en temps utile;
- b) appareils autosauveteurs: appareils respiratoires assurant une autonomie de dix minutes, utilisés uniquement pour quitter l'installation en cas de situation critique.

### **Vêtements de protection**

222. Des vêtements de protection devraient être disponibles là où des fuites de chlore gazeux peuvent se produire. A proximité des installations de stockage, il devrait y avoir, dans des armoires accessibles en cas de fuite de gaz, au moins deux appareils respiratoires assurant une autonomie de trente à quarante minutes et deux jeux complets de

vêtements de protection (combinaisons, cagoules, bottes et gants isolants).

### **Trousses d'outils**

223. Des trousse d'outils (notamment des clés de rechange pour robinets) devraient être prévues pour les interventions d'urgence dans la zone de stockage de chlore. Ce matériel devrait être contrôlé et entretenu régulièrement.

### **Neutralisation des fuites de chlore**

224. Du matériel et des moyens appropriés – notamment des feuilles plastiques (voir paragr. 226) – devraient se trouver à portée immédiate pour arrêter les fuites de chlore.

225. Il peut être utile de disposer de sable pour contenir les débords de chlore liquide.

226. Les besoins en extincteurs à mousse ou en pulvérisateurs d'eau devraient être étudiés avec le service local des sapeurs-pompiers et le fournisseur de chlore; en effet, l'emploi de mousse ou d'eau peut aggraver la situation en certaines circonstances. Si l'on a affaire à un débord contenu à l'intérieur d'un bâtiment, il se formera rapidement à la surface une couche de vapeurs froides et de boue d'hydrate de chlore. Une application de mousse entraînerait un nouveau dégagement de vapeurs par suite de l'apport de chaleur. Le meilleur moyen consiste souvent à couvrir un débord stabilisé de feuilles plastiques. Les sapeurs-pompiers disposent parfois d'une mousse appropriée; en tout état de cause, son utilisation devrait être décidée sur place d'accord avec le directeur technique de l'entreprise.

### **Sélection et formation du personnel, consignes d'exploitation**

227. Le principal risque de fuites de chlore à l'air libre est lié à des erreurs de conduite de l'installation. Il est impératif de veiller à la sélection et à la formation du personnel si l'on veut assurer une exploitation efficace et sans danger.

228. Des consignes détaillées sont indispensables pour la conduite de toutes les opérations ainsi que pour le déchargement des véhicules-citernes transportant du chlore liquide, pour l'exploitation des installations de stockage et pour l'utilisation du chlore.

229. Il convient de définir en détail les procédures à suivre pour la mise en service et l'arrêt prolongé des installations, pour les contrôles et les inspections périodiques et pour les interventions en cas de fuite de chlore (chlore liquide ou gaz).

### Sélection et formation du personnel

230. Il importe de choisir avec soin le personnel des installations de manutention et de stockage du chlore en vrac. Ce personnel doit avoir les aptitudes physiques requises et subir un examen médical avant l'embauche. Il doit être capable de communiquer efficacement et de garder son sang-froid dans des situations stressantes. Il est très souhaitable qu'il possède déjà une certaine expérience de l'industrie chimique ou d'une industrie analogue.

231. La formation du personnel d'exploitation devrait comprendre une instruction théorique et une formation pratique.

232. L'instruction théorique devrait porter sur les propriétés physiques, chimiques et toxicologiques du chlore et sur l'étude détaillée des opérations. Un matériel de protection individuelle approprié – vêtements protecteurs, lunettes, etc. – devrait être mis à la disposition du personnel, qui devrait savoir l'utiliser correctement. Quant à la formation pratique, elle devrait être confiée à un instructeur connaissant bien les installations. La direction de l'entreprise et les agents de maîtrise ont également un rôle à jouer dans la formation. L'accent sera mis sur les mesures de sécurité et les méthodes permettant de faire face aux situations critiques.

233. Le programme de formation devrait également porter sur les procédures à suivre lors d'opérations spéciales requises à intervalles peu fréquents: mise à l'arrêt des installations, isolement, préparation pour les travaux d'entretien, inspection, remise en service. L'utilisation des appareils respiratoires devrait, elle aussi, faire l'objet d'une formation à la fois théorique et pratique.

234. Un recyclage devrait être organisé à intervalles déterminés.

### Consignes d'exploitation

235. Des consignes écrites seront établies pour toutes les opérations et interventions prévisibles de routine ou d'urgence; il peut s'agir aussi bien de fiches-guides pour des opérations élémentaires que de manuels complets.

236. Les consignes d'exploitation devraient traiter chaque opération de façon détaillée. Elles devraient émaner formellement du responsable de l'exploitation du secteur considéré des installations; c'est à lui qu'il appartient d'autoriser toute modification des consignes.

237. Des exemplaires des consignes d'exploitation, complétées par des schémas des installations et l'indication des robinets à fermer en cas d'urgence, devraient être à la disposition du personnel sur les lieux de travail ainsi que des surveillants dans les centres de contrôle.

238. Les surveillants devraient s'assurer régulièrement que le travail s'accomplit conformément aux consignes fixées par écrit.

### Entretien

239. Un bon entretien des installations, de la robinetterie et des instruments est essentiel à la sécurité.

240. Des programmes doivent fixer la fréquence des travaux d'entretien courants, des contrôles et des inspections; ces programmes devraient être strictement suivis et leurs résultats consignés dans un registre.

241. Des consignes détaillées devraient être établies par écrit pour tous les travaux d'entretien courants. Elles devraient être rédigées par l'ingénieur chargé de l'entretien ou être approuvées par lui. Les surveillants devraient s'assurer régulièrement que le travail s'effectue conformément à ces consignes.

242. Il importe qu'un contact étroit soit maintenu entre l'ingénieur chargé de l'entretien et le directeur de la production, de façon que, avant le début des travaux d'entretien, les installations soient convenablement préparées par le personnel d'exploitation et qu'elles ne renferment plus de chlore.

243. Une formation adéquate s'impose pour l'ensemble du personnel d'entretien; cette formation devrait porter sur les propriétés du chlore, les mesures de sécurité et la conduite à tenir en cas d'accident.

### **Système d'autorisations de travail**

244. Des procédures strictes devraient être établies dans le cadre d'un système d'autorisations de travail aux fins suivantes:

- a) faire en sorte que les installations se trouvent dans un état satisfaisant, correctement isolées, et ne renferment plus de chlore;
- b) exercer, dans les zones où du chlore est mis en œuvre, un contrôle sur tous les travaux faisant appel à du matériel susceptible d'endommager accidentellement les installations (grues, engins mobiles, postes de soudage, etc.); ce contrôle est indispensable même lorsque les travaux en question ne portent pas directement sur les tuyauteries et les réservoirs contenant du chlore;
- c) assurer la réception formelle des installations avant qu'elles soient remises en service à la fin des travaux.

### **Modification des installations**

245. Aucune modification ne doit être apportée sans autorisation spécifique à des installations contenant du chlore, toute modification devant être approuvée, au préalable, par le personnel responsable des secteurs intéressés. Des procédures précises devraient être établies pour la réalisation des modifications requises. Il est bon d'examiner les modifications envisagées avec le fournisseur de chlore liquide.

246. Il existe dans certains pays des dispositions sur les programmes de contrôle et d'entretien et les procédures de vérification des réparations et des modifications. Toute modification ou réparation susceptible de porter atteinte à l'intégrité des installations devrait être définie de manière précise et surveillée par une personne compétente.

### **Mesures en cas d'accident**

247. Un plan d'intervention devrait être établi par l'entreprise pour faire face aux diverses possibilités de fuite de chlore. Un exemplaire devrait

en être remis à toutes les personnes appelées à participer à sa mise en œuvre.

248. Chaque usine devrait disposer de moyens pour alerter l'ensemble du personnel lorsqu'une fuite de gaz se produit. Les mesures à prendre dans le cas d'une telle alerte devraient faire l'objet d'instructions écrites.

249. Des mesures simples pourront suffire s'il s'agit d'une faible fuite de gaz. Si la fuite est importante, par contre, une alerte spéciale devrait être déclenchée afin de mettre en route le plan d'intervention de l'entreprise.

250. Des exercices réguliers d'application du plan devraient être organisés avec le concours de la police, des sapeurs-pompiers, des hôpitaux et des services d'ambulances.

### **Détecteurs-avertisseurs de fuites**

251. La détection immédiate des fuites de chlore, notamment dans les bâtiments dont l'occupation n'est pas permanente, a l'avantage de permettre une intervention rapide (voir paragr. 103). Les bâtiments abritant des réservoirs de stockage ou des vaporiseurs de chlore devraient être équipés de détecteurs-avertisseurs appropriés. L'efficacité de leur action dépend de l'importance de l'installation, du personnel présent sur les lieux et de la rapidité avec laquelle il est possible d'intervenir. Il est conseillé de prévoir les dispositifs d'alarme ci-après: alarme acoustique bien distincte sur place, feu lumineux à l'extérieur du bâtiment, alarme optique et acoustique dans la salle de commande.

### **Bornes d'alarme**

252. Des bornes d'alarme capables de déclencher sur place une alerte rapide en cas de fuite de chlore constituent un élément essentiel du système d'intervention en cas d'accident. Ces bornes, qui devraient de préférence être du type à bouton-poussoir, devraient être installées en des points stratégiques au voisinage des installations de stockage. En règle générale, on pourra se contenter de deux bornes situées sur des parcours convenables d'évacuation de la zone de déchargement ou de stockage. Les bornes d'alarme pourront être branchées de manière à déclencher, directement ou indirectement, une alerte au poste de commandement et dans la salle de commande

principale. Dans les usines importantes, il serait indiqué qu'elles puissent déclencher une alerte locale distincte pour écarter les personnes de la zone menacée par la fuite de chlore.

253. Les bornes d'alarme peuvent également commander à distance les robinets d'isolement placés sur les réservoirs de stockage du chlore, si cela n'est pas contraire à la sécurité des installations utilisatrices.

### Plan d'intervention

254. L'entreprise devrait dresser un plan d'intervention pour faire face à toute fuite importante de chlore. Ce plan devrait comprendre des instructions pour l'équipe d'intervention, pour le personnel non touché par l'intervention et pour la liaison avec les services d'intervention en cas d'accident. Le plan pourra s'inspirer des directives applicables, là où il y en a.

255. Le plan d'intervention pourra comprendre des instructions détaillées portant sur les points suivants:

- a) déclenchement de l'alerte;
- b) recherche de la fuite de chlore (localisation et importance);
- c) avertissement de toutes les personnes se trouvant sur les lieux ou dans des installations voisines, ainsi que des services d'intervention en cas d'accident;
- d) établissement d'un poste de commandement et évaluation, par le personnel compétent, de l'accident et des mesures qui s'imposent, tant au sein de l'entreprise qu'à l'extérieur;
- e) mesures à prendre pour arrêter la fuite de chlore;
- f) recherche des éventuelles victimes et dénombrement du personnel qui se trouvait sur place;
- g) méthodes permettant d'évaluer la direction du nuage de gaz et sa concentration;
- h) critères à appliquer pour déterminer s'il faut évacuer le personnel (sauf l'équipe d'intervention) ou s'il faut, au contraire, lui donner pour consigne de rester à l'intérieur des bâtiments (portes et fenêtres fermées et ventilation arrêtée);

- i) méthodes permettant d'évaluer si des dispositions analogues devraient être prises pour les personnes se trouvant à l'extérieur des installations (contact à établir en particulier avec le responsable de tout chantier souterrain voisin dont l'atmosphère pourrait être contaminée par du chlore ayant pénétré dans le système d'aération);
- j) information des services d'intervention en cas d'accident en ce qui concerne la direction, la vitesse de propagation et la concentration du nuage de gaz;
- k) premiers soins à donner sur place, mesures d'évacuation (lorsque celle-ci est opportune et réalisable) et conseils aux ambulanciers au sujet des itinéraires à emprunter.

256. Chaque installation a ses caractéristiques et doit donc faire l'objet d'un plan détaillé particulier. La direction locale devrait être responsable de l'élaboration de ce plan avec le concours des autorités locales, de la police, des sapeurs-pompiers, des services hospitaliers, des services d'ambulances, de l'inspection du travail et du fournisseur de chlore.

### Postes de commandement

257. Les principales dispositions à prendre pour faire face à une situation critique créée par un important rejet de chlore sont indiquées ci-après:

- a) il convient de prévoir deux postes de commandement afin de pouvoir, en cas de rejet de gaz, diriger les opérations à partir du poste le moins menacé, compte tenu des conditions météorologiques;
- b) chaque poste devrait disposer de sa propre ligne téléphonique avec l'extérieur; il devrait également être relié au réseau téléphonique de l'entreprise (réseau interne et lignes de communication avec l'extérieur);
- c) le matériel nécessaire pour les interventions en cas d'accident (groupes compresseurs, réserves de mousse prévues avec les services d'intervention, vêtements de protection, etc.) devrait se trouver dans chaque poste (voir paragr. 222 à 226);
- d) il convient de prévoir un matériel de secours



approprié, avec des appareils pour l'administration d'oxygène;

- e) on devrait disposer d'une carte à grande échelle (1 : 25 000 ou 1 : 10 000) de la zone pour repérer les secteurs de l'entreprise et les lieux voisins qui risquent d'être atteints;
- f) pour connaître la direction du vent, il convient d'installer des girouettes visibles des postes de commandement ou avec dispositif d'affichage dans les postes;
- g) il faut disposer du matériel et des données nécessaires pour évaluer l'importance probable du nuage de gaz en fonction de l'importance du chlore et des conditions météorologiques.

258. Le plan d'intervention doit désigner d'avance les personnes responsables des mesures à prendre en cas de situation critique ainsi que leurs adjoints.

#### **Equipe d'intervention**

259. L'entreprise devrait disposer, pour les interventions en cas d'accident, d'une équipe bien entraînée comprenant notamment:

- a) le chef d'intervention, chargé de déclencher la mise en œuvre du plan d'intervention et de conduire les opérations sur place;
- b) le directeur général des secours, en principe le directeur des installations ou son adjoint, qui assume la responsabilité globale de l'intervention, maintenant un contact étroit avec la police et les sapeurs-pompiers et les informant des risques;
- c) d'autres personnes chargées de missions particulières, notamment l'équipe chargée de neutraliser les fuites de chlore et l'équipe chargée de rechercher les éventuelles victimes, d'administrer les premiers soins et d'assurer une évacuation en bon ordre.

260. Il incombe à la police de veiller à la protection des personnes étrangères à l'entreprise susceptibles d'être menacées par le rejet de chlore. Elle doit être informée de l'importance et de la durée probable du rejet et des zones qui risquent d'être atteintes afin de pouvoir décider, en accord avec le directeur des secours sur place, si la population peut rester chez elle ou si elle doit être évacuée.

#### **Points de rassemblement**

261. Des points de rassemblement devraient être établis pour le personnel qui ne fait pas partie de l'équipe d'intervention, qu'on pourra ainsi dénombrer et évacuer s'il y a lieu. Ces points devraient être choisis de préférence à la périphérie du terrain occupé par les installations, à proximité d'une sortie permettant l'évacuation. Un bâtiment à étages situé en amont du rejet de chlore par rapport à la direction du vent peut offrir un abri suffisant pendant les opérations de neutralisation. Le rassemblement du personnel aux points prévus devrait être dirigé par un membre expérimenté de l'équipe d'intervention, compte tenu de la direction du vent. Dans certains cas, l'évacuation des lieux n'est pas la meilleure solution, par exemple lorsqu'il s'agit d'un rejet soudain et de durée limitée.

#### **Soins aux victimes**

262. Les personnes qui ont inhalé du chlore gazeux devraient être gardées au repos et au chaud, thorax et tête relevés. Il est impératif d'obtenir rapidement une assistance médicale car des symptômes graves peuvent encore se manifester quarante-huit heures plus tard. Les personnes atteintes par du chlore gazeux devraient être examinées sur place par un médecin ou être transportées à l'hôpital en ambulance.

263. Les secouristes devraient connaître les dangers que comporte l'exposition au chlore gazeux et observer les règles fondamentales suivantes:

- a) si du chlore a atteint les yeux, il convient de procéder à une irrigation oculaire abondante et immédiate avec de l'eau propre (de préférence de l'eau du robinet);
- b) les vêtements contaminés devraient être enlevés et la peau atteinte lavée à grande eau;
- c) la respiration artificielle ne devrait pas être pratiquée si la victime respire; de l'oxygène peut être administré s'il se trouve sur place du personnel qualifié.

## Note 1. Propriétés du chlore

1. A la température ambiante et à la pression atmosphérique, le chlore est un gaz de couleur jaune tirant sur le vert. Il est livré commercialement liquéfié et sous pression dans des bouteilles en acier.

2. Le chlore liquide commercial doit répondre à des normes précises qui spécifient en particulier la teneur minimale en chlore et les teneurs maximales d'eau et de résidus après évaporation. Les normes définissent également les méthodes d'analyse permettant de déterminer les impuretés gazeuses (dioxyde de carbone, oxygène et azote) ainsi que les teneurs en eau, en trichlorure d'azote et en résidus après évaporation.

3. Dans la plupart des applications du chlore, les traces d'impuretés gazeuses dissoutes qu'il contient n'ont généralement pas d'importance; toutefois, la teneur en humidité joue un rôle capital en raison des propriétés corrosives du chlore humide.

4. Les résidus qui subsistent après évaporation – généralement des composés organiques chlorés ou du chlorure ferrique – peuvent être gênants, car ils sont capables d'obstruer les tuyauteries, la robinetterie et les instruments indicateurs. Le trichlorure d'azote peut être dangereux si la vaporisation entraîne une concentration de ce composé dans les résidus.

### Propriétés physiques et thermiques

5. Les propriétés physiques du chlore sont les suivantes:

Masse atomique	35,46
Masse moléculaire	70,91
Masse volumique liquide	1 561 kg/m <sup>3</sup> à -35°C 1 468 kg/m <sup>3</sup> à 0°C 1 410 kg/m <sup>3</sup> à +20°C
gaz	3 214 kg/m <sup>3</sup> à 0°C et 760 mmHg (densité relative: 2,490 par rapport à l'air à 20°C)
Point d'ébullition à 760 mmHg	-34,05°C
Point de fusion	-101°C
Température critique	144°C
Pression critique (absolue)	77,1 bar
Pression de vapeur (absolue) à 20°C	6,7 bar
Viscosité: liquide à 20°C	0,35 cP

1 volume de chlore liquide =	457 volumes de chlore gazeux à 0°C et 760 mmHg
1 kg de chlore liquide =	0,310 m <sup>3</sup> de chlore gazeux à 0°C et 760 mmHg

La courbe de la pression de vapeur du chlore liquide est donnée à la figure 1.

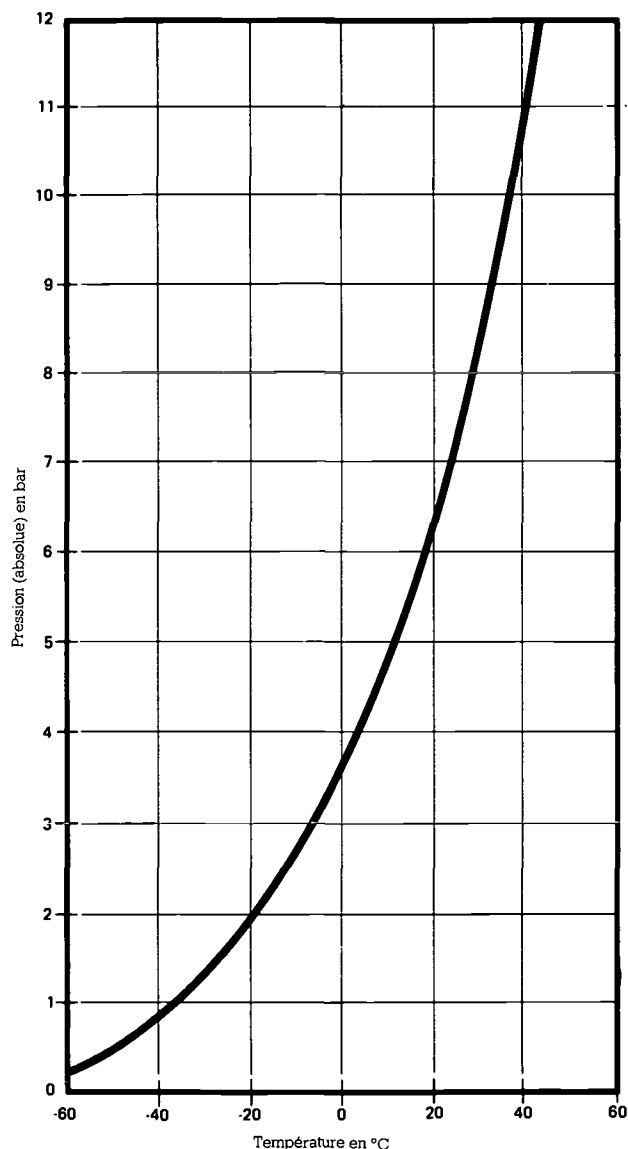
Les propriétés thermiques du chlore sont les suivantes:

Chaleur spécifique (chlore liquide entre 1 et 27°C)	0,236 kcal/kg/ °C
Chaleur spécifique (gaz sous pression constante (absolue) à 6,9 bar ou moins, entre 1 et 27°C)	0,113 kcal/kg/ °C
Rapport entre la chaleur spécifique à pression constante et la chaleur spécifique à volume constant	1,355
Chaleur latente de fusion	21,6 kcal/kg
Chaleur latente de vaporisation à 0°C	63,2 kcal/kg
Coefficient de dilatation volumique (chlore liquide à 20°C)	0,0021 par °C
Chaleur de réaction du chlore gazeux avec une solution d'hydroxyde de sodium	348 kcal/kg de chlore

6. Les données ci-dessus offrent un aperçu général des propriétés physiques et thermiques du chlore. Il convient toutefois de se documenter de manière plus détaillée si l'on doit procéder à des calculs lors de la conception d'une installation.

### Solubilité du chlore dans l'eau

7. Le chlore gazeux est faiblement soluble dans l'eau; la solution résultante possède des propriétés oxydantes, blanchissantes et germicides. La solubilité du chlore dans l'eau augmente avec la pression partielle du gaz. Le tableau ci-dessous donne la solubilité du chlore dans l'eau pour une pression totale de 760 mmHg.

**Figure 1. Chlore: courbe de la pression de vapeur**

Température °C	10	15	20	25
Grammes de chlore par litre d'eau	9,97	8,5	7,29	6,41

8. Lorsque la solution se refroidit au-dessous de 9,6°C, il se forme des cristaux d'hydrate de chlore ( $\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) qui se déposent. Il importe dès lors que le chlore humide soit maintenu à une température supérieure à 9,6°C afin d'éviter les obstructions qui pourraient se produire du fait de la formation d'hydrate de chlore solide.

9. Une solution de chlore dans l'eau donne naissance à de l'acide chlorhydrique et de l'acide hypochloreux:  $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{HOCl}$

### Propriétés chimiques

10. A la température ambiante, le chlore anhydre réagit directement avec nombre d'éléments pour former des chlorures de métalloïdes (de soufre et de phosphore, par exemple) aussi bien que de métaux (de fer sous forme finement divisée, d'aluminium et de titane, par exemple). A la température ambiante, le chlore anhydre n'attaque pas l'acier, le cuivre ou le nickel, mais ceux-ci sont attaqués aux températures plus élevées. L'acier se combine au chlore anhydre au-dessus de 200°C; cette réaction étant exothermique, la vitesse de réaction risque d'augmenter rapidement. La réaction avec le nickel n'a lieu qu'au-delà de 500°C.

11. Des traces d'humidité dans le chlore entraînent une corrosion rapide de l'acier, du cuivre et du nickel.

12. Le titane n'est pas attaqué par le chlore humide jusqu'à une température de 100°C environ, mais bien par le chlore anhydre.

13. Le chlore se dissout dans des solutions aqueuses et froides d'alcalis pour produire des solutions d'hypochlorites. Des chlorates peuvent se former dans des solutions aqueuses d'alcalis chaudes ou bouillantes.

14. Le chlore réagit violemment avec de nombreux composés organiques, y compris les huiles et les graisses minérales, pour former des produits chlorés. Le mécanisme de la réaction consiste en une addition directe aux liaisons non saturées, ou encore en une substitution de l'hydrogène; dans ce dernier cas, il se forme du chlorure d'hydrogène en tant que sous-produit.

15. Les mélanges de chlore et d'hydrogène peuvent exploser à l'intérieur d'une plage étendue de concentrations. L'explosion peut être amorcée par une étincelle, une action photochimique ou un catalyseur. Dans certaines conditions, la réaction du chlore avec l'ammoniac peut entraîner la formation de trichlorure d'azote, composé susceptible d'exploser spontanément.

### Choix des matériaux de construction

16. Le choix des matériaux entrant dans la construction des installations mettant en œuvre du chlore devrait être étudié avec le fournisseur de chlore liquide et n'être arrêté qu'après un examen approfondi de toutes les situations susceptibles de se présenter en cours d'exploitation.

17. Une installation destinée au chlore anhydre et construite en acier doit être parfaitement sèche au moment de sa mise en service. Le séchage peut se faire par une purge effectuée à l'air sec ou à l'aide d'un gaz inerte jusqu'à ce que le gaz expulsé ait un point de rosée inférieur à  $-40^{\circ}\text{C}$ . Il importe toutefois que la température de service supérieure soit limitée.

18. Le titane peut être utilisé en présence de chlore humide, pour autant que la teneur en humidité reste élevée et que la limite supérieure de la température de service ne soit pas dépassée. Le personnel de maintenance et de surveillance doit être conscient de la possibilité de corrosion en criques. Toutefois, lorsqu'on utilise du titane pour la construction d'installations renfermant du chlore humide (gazeux ou liquide), il faut tenir compte de l'éventualité d'une défaillance pouvant amener du chlore anhydre (gazeux ou liquide) au contact du métal. Si une telle éventualité ne peut être écartée, il vaut mieux songer à des matériaux de remplacement.

19. Parmi les matériaux qui résistent au chlore gazeux (humide ou anhydre) aux températures ambiantes, on peut ranger le verre, le grès, la porcelaine, le tantale, l'ébonite et certaines matières plastiques. L'utilisation des plastiques (à l'exception du PTFE et des matériaux apparentés) donne cependant généralement des résultats peu satisfaisants lorsqu'il s'agit de chlore liquide.

### Propriétés toxicologiques

20. La limite recommandée pour l'exposition au chlore est de 1 ppm en volume, concentration tout juste décelable par l'odorat. La limite admise pour des expositions de courte durée est de 3 ppm.

21. L'exposition à des concentrations de l'ordre de 15 ppm provoque une irritation des muqueuses oculaires et nasales, mais surtout de la gorge, des bronches et des poumons. Des concentrations de 50 ppm et davantage sont dangereuses, même lors d'expositions de courte durée. Elles peuvent entraîner un œdème aigu des poumons. Les symptômes n'en sont pas toujours immédiatement perceptibles mais peuvent apparaître brusquement deux jours encore après l'exposition au gaz. Le chlore liquide peut provoquer des brûlures au contact de la peau et des muqueuses.

## Note 2. Installations à l'air libre et installations intérieures<sup>1</sup>

1. Les installations mettant en œuvre du chlore devraient, autant que possible, être situées à l'air libre; toutefois, dans certaines circonstances, il peut être indiqué de les loger dans un bâtiment.

2. Un bâtiment peut abriter soit une installation entière, soit seulement une partie de l'installation (équipement des réservoirs (trou d'homme, robinetterie, tuyauteries connexes, instruments de contrôle), les réservoirs eux-mêmes étant à l'air libre).

3. Les avantages et les inconvénients des deux types d'implantation sont énumérés ci-après, de même que les exigences qui en découlent.

### Installations à l'air libre

4. Avantages:

- a) les fuites n'étant pas confinées, on peut s'en approcher avec davantage de sécurité en se plaçant en amont par rapport à la direction du vent;
- b) il est plus facile de localiser la fuite et de procéder sans délai à sa neutralisation;
- c) l'accès aux installations est plus aisé, tant pour leur montage que pour les grands travaux d'entretien;
- d) les coûts de construction sont moins élevés.

5. Inconvénients:

- a) la détection précoce des fuites n'est possible que si l'on se trouve en aval par rapport à la direction du vent;
- b) des fuites de faible importance, et plus particulièrement celles dues à la corrosion, peuvent passer inaperçues;
- c) les travaux d'entretien et de réparation peuvent devoir être effectués dans des conditions météorologiques défavorables.

6. Conditions à remplir:

- a) surveillance attentive et protection efficace contre la corrosion;

- b) bonne protection contre les accidents mécaniques et l'accès de personnes non autorisées;
- c) système efficace d'intervention en cas d'accident, fixant éventuellement la marche à suivre pour l'arrosage à l'eau des nuages de gaz et pour l'application de mousse sur les débords de chlore liquide;
- d) mise en place, le cas échéant, d'une protection contre les intempéries aux points critiques pour l'entretien (on peut soit installer des auvents, soit prévoir un bâchage temporaire);
- e) présence permanente de personnel sur les lieux dans les cas où un dégagement de chlore est susceptible d'avoir des conséquences graves à l'intérieur ou à l'extérieur du site.

### Installations intérieures

7. Avantages:

- a) la robinetterie, les instruments et les autres appareils sont à l'abri de la pluie et de la neige; ils risquent moins les effets de la corrosion, à condition que l'atmosphère intérieure reste sèche;
- b) il est possible d'assurer un chauffage modéré pour maintenir une ambiance sèche et une pression de vapeur plus élevée pour les procédés où le refoulement du chlore par un gaz inerte ou de l'air comprimé ne peut être envisagé;
- c) on peut régler la ventilation et ainsi limiter les incidences extérieures si la fuite demeure relativement faible;
- d) les dispositifs détecteurs peuvent mieux déceler les fuites, ce qui est particulièrement intéressant dans le cas d'une installation qui n'est pas surveillée en permanence;
- e) l'installation est protégée contre les accidents mécaniques, les explosions et les incendies qui se produiraient dans des locaux adjacents et aussi contre l'ingérence de personnes non autorisées.

<sup>1</sup> Voir paragr. 14.

8. Inconvénients:

- a) toute fuite d'importance moyenne ou majeure entraîne sur place une forte concentration de gaz, ce qui oblige à intervenir dans une atmosphère toxique confinée;
- b) il peut être malaisé de localiser la fuite à cause de la présence de gaz et de la formation de brouillard;
- c) si le bâtiment est chauffé, il y aura une plus forte évaporation au sol et une vaporisation instantanée s'il s'agit d'une fuite de chlore liquide;
- d) l'accès sera probablement plus difficile pour le personnel d'entretien.

9. Conditions à remplir:

- a) installation d'un système de ventilation forcée d'un débit suffisant pouvant être mis en marche aussi bien de l'extérieur que de l'intérieur du bâtiment;
- b) étude approfondie de la disposition de l'installation, aménagement de voies d'évacuation adéquates et fourniture d'appareils respiratoires autosauveteurs;
- c) système d'intervention efficace en cas d'accident, constitution d'un stock suffisant de vêtements de protection et d'appareils respiratoires autonomes (en plus des appareils normaux à cartouches filtrantes).

### Note 3. Bibliographie

[Seules ont été conservées ici les références principales d'intérêt général.]

#### Dispositions législatives et réglementaires, directives diverses (Royaume-Uni)

#### Association de l'industrie chimique (Chemical Industries Association, Royaume-Uni)

Codes of practice for chemicals with major hazards: Chlorine.

*Safety Audits. A guide for the chemical industry. Is it toxic?*

*A guide to hazard and operability studies.*

*Recommended procedures for handling major emergencies.*

#### Institut du chlore (Chlorine Institute, New York, Etats-Unis)

*Chlorine manual*, 4<sup>e</sup> édition, 1969.

#### Institut national de sécurité et de santé au travail (National Institute for Occupational Safety and Health, Etats-Unis)

*Criteria for a recommended standard: Occupational exposure to chlorine.*

#### Normes britanniques (British Standards Institution, Royaume-Uni)

BS 3947, 1976: *Specification for liquid chlorine.*

BS 5355, 1976: *Specification for filling ratios and developed pressures for liquefiable and permanent gases.*

BS 5500, 1982: *Unfired fusion welded pressure vessels.*

BS 1501: *Steels for fired and unfired pressure vessels. Plates.*

BS 1501-1, 1958: *Steels for use in the chemical, petrochemical and allied industries.*

BS 1501, Part 3, 1973: *Corrosion and heat resisting steel.*

BS 3351, 1971: *Piping systems for petroleum refineries and petrochemical plants.*

BS 2915: *Bursting discs and bursting disc assemblies.*

BS 2815, 1973: *Compressed asbestos fibre jointing.*

#### Institut national de recherche et de sécurité (France)

*Le chlore* (Paris, 1978).

#### Bureau international technique du chlore (Bruxelles, Belgique).

Recommandations du Sous-comité sur le stockage et le transport du chlore.

#### **Note 4. Marche à suivre lors du déchargement de camions-citernes transportant du chlore<sup>1</sup>**

Cette marche à suivre repose sur l'hypothèse que les réservoirs de stockage et leur équipement ont été conçus pour une pression maximale d'utilisation d'au moins 12 bar (pression relative). Si ce n'est pas le cas, il convient de modifier en conséquence la pression du réseau d'air comprimé, les dispositifs de décompression, etc., et d'aménager le système de transvasement en sorte qu'il soit possible de travailler dans les limites imposées par les divers éléments de l'installation.

#### **Mesures à prendre**

Il s'agit, en tout premier lieu, de prévenir les fuites, ou tout au moins de les réduire le plus possible. Il faut notamment s'assurer que les nouveaux joints d'étanchéité ont été soumis à une épreuve de pression au gaz avec le minimum de liquide. Le port de masques à gaz s'impose lors de ces épreuves, de même que lors du débranchement de la tuyauterie de déchargement, en raison des risques d'échappement d'une petite quantité de vapeurs résiduelles. Ces masques resteront à portée de la main pendant la suite des opérations.

1. Les paragraphes qui suivent exposent en détail les opérations qui doivent être effectuées par le client qui réceptionne le chlore et par le conducteur du camion-citerne, respectivement. On se reportera au schéma de la figure 3.

#### **Client**

2. Il assurera la manœuvre des robinets de l'installation de stockage, notamment de ceux de la conduite de transvasement.

#### **Conducteur**

3. A son arrivée, il conduira son véhicule sur le pont-bascule, puis l'acheminera au poste de déchargement.

4. Il positionnera son véhicule au poste de déchargement et l'immobilisera au moyen de cales.

5. Il communiquera le résultat de la pesée à un agent responsable. En signant ce document, le

client certifie, sous sa propre responsabilité, qu'il reste une capacité suffisante dans le réservoir de stockage pour recevoir la totalité de la charge du camion-citerne et que l'installation est prête au transvasement.

6. Il communiquera le poids du chlore contenu dans le camion-citerne au préposé à l'installation afin que celui-ci puisse déterminer la valeur finale qui sera affichée par le dispositif de pesée du réservoir.

#### **Client**

7. Il s'assurera que les signaux et les barrières nécessaires ont été mis en place et que les mesures de sûreté prévues ont été prises au poste de déchargement.

8. S'il y a plus d'un réservoir de stockage, le client désignera celui dans lequel il faut transvaser et s'assurera que sa capacité est suffisante pour prévenir un trop-plein. Avant le début du transvasement, la pression à l'intérieur du réservoir ne devrait pas dépasser 6 bar (pression relative); elle peut excéder cette valeur par temps très chaud.

9. Il s'assurera, avant le transvasement, que le robinet de décharge sur la tuyauterie de remplissage du réservoir de stockage est fermé.

#### **Conducteur**

10. Après s'être équipé d'un masque à gaz, il enlèvera les bouchons des robinets du camion-citerne et des tuyauteries de transvasement au poste du client et s'assurera qu'il n'y a aucune fuite. Il placera de nouveaux joints en fibre d'amiante comprimée et branchera les tuyauteries d'air comprimé et de chlore liquide sur les robinets correspondants du camion-citerne.

#### **Client et conducteur**

11. Porteurs de leur masque à gaz, ils mettront le raccordement de la tuyauterie de transvasement sous pression, de préférence en ouvrant pendant un instant les robinets de cette tuyauterie. Une autre méthode, moins indiquée, consiste à ouvrir momentanément le robinet de déchargement du camion-citerne. Le conducteur contrôlera l'étanchéité des joints à l'aide d'eau ammoniacale. S'il ne détecte aucune fuite, il pourra ôter son masque et demander au préposé à l'installation

<sup>1</sup> Voir paragr. 40.



d'ouvrir le robinet de la tuyauterie de transvasement situé juste après le bras de raccordement. Le robinet du camion-citerne pourra alors être ouvert lentement pour remplir la tuyauterie de transvasement; la pression affichée sera celle de la citerne du camion.

12. On mettra en marche le compresseur d'air. Quand la pression aura atteint 8,3 bar, on ouvrira le robinet de la tuyauterie amenant l'air à la citerne du camion. Lorsque la pression à l'intérieur de celle-ci (affichée sur la tuyauterie de transvasement) aura dépassé de 1,7 bar celle qui règne à l'intérieur du réservoir de stockage, le préposé à l'installation ouvrira le robinet de remplissage du réservoir et mettra en route l'opération de transvasement.

13. On s'assurera que le transvasement se déroule normalement en observant l'affichage du dispositif de pesée du réservoir.

14. On surveillera la pression du réservoir de stockage au cours du transvasement. Si elle devait atteindre 6,2 bar, le préposé ouvrirait immédiatement le robinet de décharge du réservoir pour réduire la pression.

15. La fin du déchargement du camion-citerne est matérialisée par:

- a) une fluctuation de la pression affichée par le manomètre sur la tuyauterie de transvasement;
- b) l'égalisation des pressions de la citerne du camion et de la tuyauterie de transvasement.

16. On fermera le robinet de chlore liquide et le robinet d'air comprimé du camion-citerne et on arrêtera le compresseur. Le préposé à l'installation fermera le robinet du réservoir de stockage et le robinet de décharge de celui-ci s'il a été ouvert. Il ouvrira ensuite le robinet de décharge de la tuyauterie de transvasement du réservoir. Lorsque le givre commence à disparaître et que le manomètre affiche zéro, le préposé fermera le robinet placé à l'extrémité de la tuyauterie de transvasement. On fermera également le robinet de décharge de celle-ci.

### Client

17. Il ouvrira le robinet de décharge du réservoir de stockage pendant une minute environ pour s'assurer que le niveau du chlore liquide se trouve au-dessous de l'extrémité inférieure du tuyau qui prolonge la ligne de décharge à l'intérieur du réservoir. Cette opération permet également de purger les gaz non condensables. On vérifiera que la pression à l'intérieur du réservoir de stockage est normale par rapport à la température du chlore.

### Conducteur

18. Après avoir mis son masque à gaz, il débranchera la tuyauterie de transvasement de la citerne du camion, remettra le bouchon et repliera le bras de raccordement. Les tuyaux de jonction aux robinets de chlore liquide et d'air comprimé peuvent être débranchés, les deux robinets bloqués et le dôme protecteur solidement fixé.

### Client

19. Il est capital que chaque tronçon de la tuyauterie soit parfaitement purgé et qu'il ne reste pas de chlore liquide entre deux robinets fermés.

### Conducteur

20. Avant de quitter l'installation, il demandera à la personne responsable désignée par le client de signer la notice et le bordereau de livraison attestant que toutes les opérations de déchargement ont été effectuées de manière satisfaisante. Une copie en sera remise à la personne responsable. En partant, il procédera à une nouvelle pesée du camion-citerne sur le pont-basculé.

## Note 5. Aperçu des divers types de vaporiseurs<sup>1</sup>

On peut rattacher les vaporiseurs de chlore à quatre grands types comportant chacun des avantages et des inconvénients:

- 1) Vaporiseurs tubulaires verticaux;
- 2) Vaporiseurs à serpentín;
- 3) Vaporiseurs à tubes coaxiaux;
- 4) Vaporiseurs du type chaudière.

### Vaporiseurs tubulaires verticaux (type 1)

(Le modèle à cylindre d'évaporation est rangé dans cette catégorie.)

*Avantages:*

- a) encombrement général réduit pour une surface relativement importante d'échange de chaleur;
- b) facilité d'entretien;
- c) si c'est le chlore qui circule dans la tubulure, le chlore liquide est automatiquement refoulé par la surpression qui se forme lorsque l'arrivée de vapeur au point d'utilisation est coupée.

*Inconvénients:*

- a) si c'est le chlore qui circule dans la tubulure, il y a risque d'instabilité à fort débit en raison des variations du niveau du chlore liquide dans la tubulure; il existe aussi un risque de corrosion au voisinage de la surface du liquide;
- b) si le chlore se trouve dans la cuve, il est malaisé de sécher celle-ci complètement.

### Vaporiseurs à serpentín (type 2)

*Avantages:*

- a) modèle simple à entretenir et à faire fonctionner;
- b) la grande longueur du serpentín assure généralement une surchauffe suffisante;
- c) pas de problèmes de différences de dilatation thermique;
- d) le mode de circulation (écoulement à bouchons) prévient la concentration d'impuretés à point d'ébullition élevé;

- e) il est relativement facile de sécher l'appareil avant l'utilisation;
- f) le chlore liquide est automatiquement refoulé lorsque l'arrivée de vapeur au point d'utilisation est coupée.

*Inconvénients:*

- a) débit faible;
- b) possibilité de corrosion de l'extérieur du serpentín, notamment au voisinage de la surface du liquide;
- c) possibilité d'érosion irrégulière de l'intérieur du serpentín;
- d) il est difficile d'inspecter et de nettoyer l'intérieur du serpentín.

### Vaporiseurs à tubes coaxiaux (type 3)

*Avantages:*

- a) simplicité de construction avec un minimum de soudures;
- b) facilité d'entretien et de fonctionnement;
- c) il est facile de prévoir une surépaisseur convenable pour la corrosion;
- d) le chlore liquide est automatiquement refoulé lorsque l'arrivée de vapeur au point d'utilisation est coupée;
- e) le mode de circulation au-delà d'un certain débit minimal (écoulement à bouchons) prévient la concentration d'impuretés à point d'ébullition élevé.

*Inconvénients:*

- a) risque de fonctionnement instable à faible débit et à débit élevé;
- b) capacité limitée, la surface d'échange thermique étant relativement réduite;
- c) il est plus difficile d'obtenir une surchauffe suffisante du chlore.

### Vaporiseurs du type chaudière (type 4)

*Avantages:*

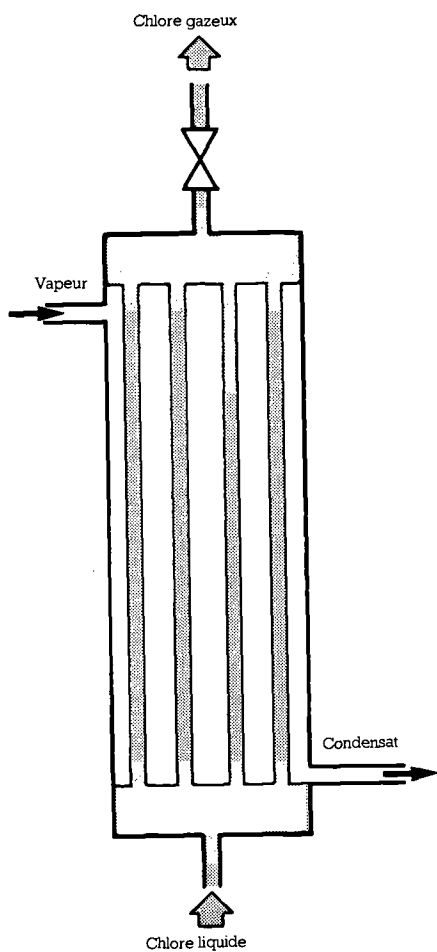
- a) modèle pouvant assurer des débits importants;
- b) il est facile de régler les problèmes de dilatation thermique;

<sup>1</sup> Voir paragr. 170-172.

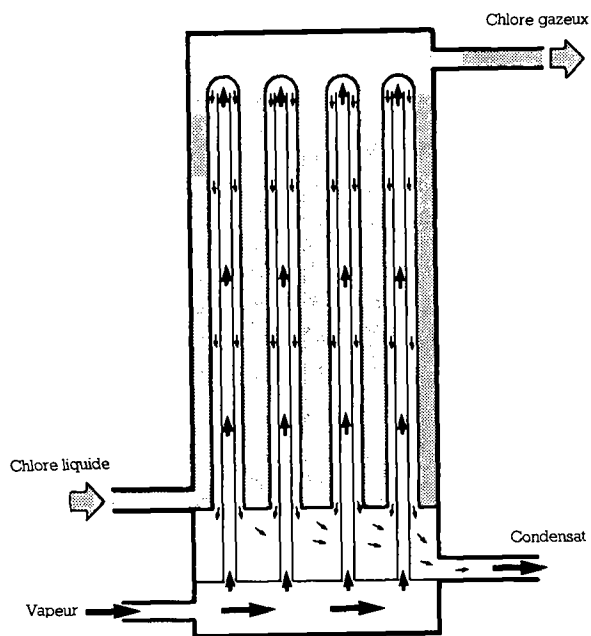
- c) marche stable dès lors qu'on contrôle soit le niveau de chlore dans la chaudière, soit la pression du chlore alimentant le vaporiseur.

*Inconvénients:*

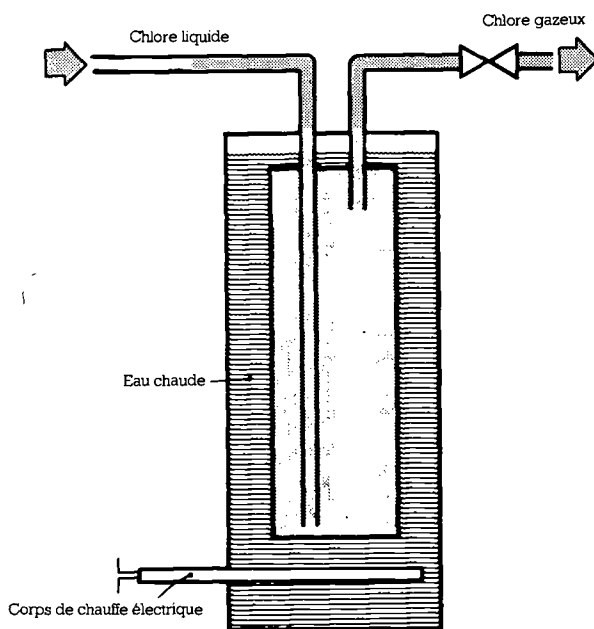
- a) ce modèle peut présenter des risques assez importants, en raison de la quantité de chlore liquide contenue dans la chaudière, en cas de fuite ou d'augmentation excessive de la pression à l'intérieur de celle-ci;
- b) il faut prévoir un système de décompression de grande capacité, à moins que le vaporiseur ne soit conçu pour supporter une pression élevée;
- c) l'évaporation intérieure peut entraîner une concentration dangereuse de trichlorure d'azote; l'opération de purge nécessaire pour réduire ce risque peut être difficile à réaliser sur place;
- d) il est malaisé de sécher l'intérieur de l'appareil, côté chlore;
- e) le démontage des tubes est difficile et exige beaucoup de place.



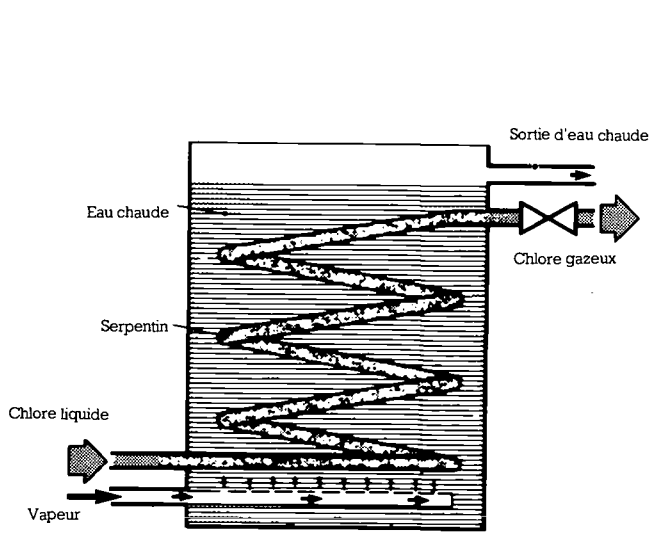
**Type 1a. Vaporiseur tubulaire vertical**



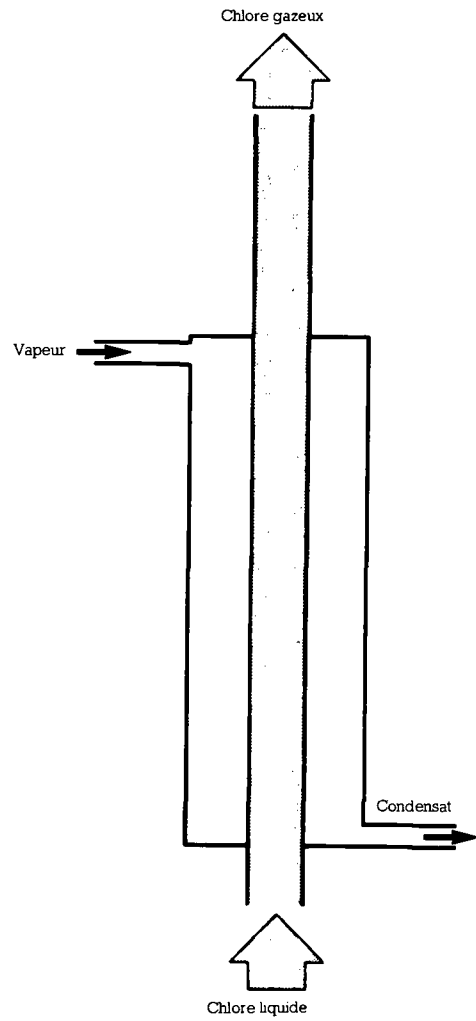
**Type 1b. Vaporiseur tubulaire (tubes de chauffe)**



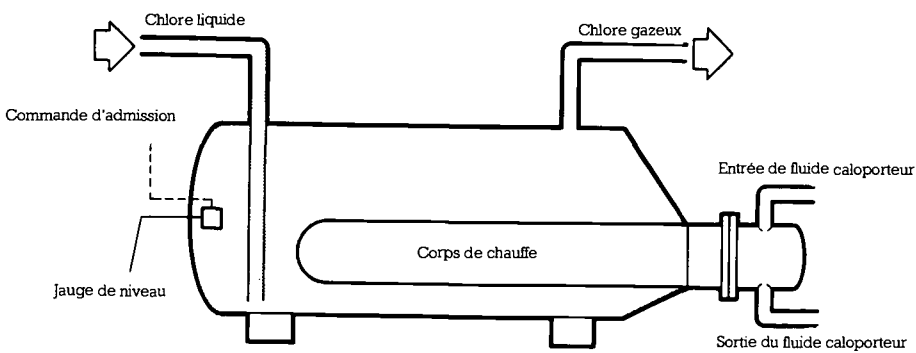
**Type 1c. Vaporiseur à cylindre d'évaporation**



**Type 2. Vaporiseur à serpentin**



**Type 3. Vaporiseur à tubes coaxiaux**



**Type 4. Vaporiseur du type chaudière**



## **Le stockage de l'ammoniac anhydre sous pression**

Le texte qui suit est la traduction du guide publié par la Direction de la santé et de la sécurité au travail du Royaume-Uni (Health and Safety Executive): *Storage of anhydrous ammonia under pressure in the United Kingdom*, Health and Safety Series booklet HS(G)30 (Londres, Her Majesty's Stationery Office, 1986).





## **Table des matières**

### **Avant-propos**

### **Informations générales**

Objet  
Sécurité  
Risques pour la santé

### **Réservoirs sphériques**

Implantation  
Caractéristiques de la sphère  
Fondations  
Cuvettes de rétention  
Matériel auxiliaire  
Isolation thermique  
Sécurité de l'installation de stockage  
Formation en matière de sécurité et consignes pour le personnel  
Mise en service, exploitation et mise hors service  
Inspection et maintenance  
Plan d'intervention en cas de situation critique

### **Réservoirs cylindriques**

Introduction  
Propriétés physiques de l'ammoniac et risques pour la santé  
Implantation  
Caractéristiques du réservoir  
Fondations  
Cuvette de rétention  
Matériel auxiliaire  
Isolation thermique  
Sécurité de l'installation de stockage  
Formation en matière de sécurité et consignes pour le personnel  
Mise en service et mise hors service  
Inspection et maintenance

### **Bibliographie**

## Avant-propos

En 1980, l'Association de l'industrie chimique du Royaume-Uni (Chemical Industries Association) a publié un recueil de directives pratiques pour le stockage de l'ammoniac anhydre sous pression. Ce recueil portait sur le stockage en réservoirs sphériques ou cylindriques. Depuis, on a assisté dans ce secteur à une évolution continue des connaissances, notamment en ce qui concerne les mesures à prendre pour éviter la formation de fissures dues à la corrosion sous contrainte dans les réservoirs sphériques. Il a donc été décidé de mettre à jour la première partie du recueil de 1980 afin d'y incorporer les connaissances nouvelles; la deuxième partie a également été révisée.

Ces directives ont été élaborées conjointement par la Direction de la santé et de la sécurité au travail du Royaume-Uni (Health and Safety Executive), le Groupement de l'ammoniac de l'Association de l'industrie chimique et une commission spécialisée (PLC) de la société Imperial Chemical Industries. Elles sont fondées sur la version révisée du recueil de 1980, qu'elles remplacent. Elles n'ont toutefois pas valeur de normes techniques pour l'aménagement des installations.

## Informations générales

### Objet

1. Les présentes directives définissent les exigences de base auxquelles doivent satisfaire: 1) la conception des récipients sous pression sphériques et cylindriques et de leurs principaux accessoires en vue de garantir la sécurité d'exploitation; 2) certains facteurs d'exploitation. Elles visent plus particulièrement le choix de l'implantation, les cuvettes de rétention, la formation du personnel, l'équipement de sécurité, les contrôles et les mesures à prendre en cas de situation critique.

### Sécurité

2. Il ne suffit pas de se conformer aux normes de sécurité régissant la construction et l'exploitation des installations de stockage d'ammoniac; il faut encore prêter la plus grande attention aux dispositions propres à garantir la sécurité de la zone concernée (voir paragr. 88).

3. L'ammoniac anhydre (c'est-à-dire qui ne contient pas d'eau) se présente sous forme de gaz aux températures et pressions ordinaires. Le terme «ammoniac anhydre» désigne, dans le cadre des présentes directives, l'ammoniac gazeux ou liquéfié; il ne faut pas confondre ce dernier avec l'ammoniaque, qui est une solution d'ammoniac dans l'eau. Dans la suite du présent document, le terme «ammoniac» désigne l'ammoniac anhydre.

4. L'ammoniac peut être liquéfié en abaissant sa température à  $-33^{\circ}\text{C}$  ou en augmentant modérément sa pression. Ces propriétés permettent de le stocker sous forme liquide dans des réservoirs de différents types. On utilise actuellement trois méthodes de stockage, dont le choix dépend principalement de la quantité à stocker.

- a) Stockage à la température ambiante et à la pression équivalente dans des réservoirs cylindriques. On a recours à cette méthode pour des quantités relativement faibles; en effet, des considérations pratiques de fabrication et de transport limitent la capacité de ces réservoirs.
- b) Stockage sous pression dans des réservoirs sphériques. Les réservoirs sphériques peuvent être construits sur place pour des capacités pouvant atteindre plusieurs milliers de tonnes d'ammoniac. Il est rare cependant de rencontrer de très grands réservoirs sphériques; la capacité oscille généralement entre 500 et 3 000 t. On peut avoir recours à la réfrigération pour abaisser la température de l'ammoniac; dans ce cas, les réservoirs sont exploités à une température inférieure à celle des réservoirs à température ambiante. Ce type de stockage est parfois appelé «à basse pression» ou «semi-réfrigéré».
- c) Stockage à la pression atmosphérique. Lorsqu'on abaisse la température à  $-33^{\circ}\text{C}$ , l'ammoniac peut être stocké à la pression atmosphérique. On peut alors utiliser des réservoirs cylindriques à fond plat, la pression que doit pouvoir supporter le réservoir correspondant à la colonne de liquide. Dans la pratique, on maintient néanmoins une légère surpression intérieure pour faciliter le fonctionnement du système de réfrigération.

Cette méthode de stockage est généralement considérée comme économique lorsqu'il s'agit de capacités supérieures à 5 000 t. De nombreux réservoirs allant de 20 000 à 35 000 t ont été construits, quelques-uns dépassant même 35 000 t.

5. L'ammoniac stocké sous pression recèle une énergie potentielle considérable. En cas de rupture du récipient primaire, le liquide s'évaporerait spontanément et rapidement, l'état thermodynamique de l'ammoniac s'adaptant instantanément à la chute de pression. Du fait que la vaporisation se produit presque immédiatement dans toute la masse du liquide, la plus grande partie du contenu d'un récipient sous pression éclaté pénétrerait dans l'atmosphère sous forme de vapeur ou d'aérosol liquide finement dispersé. Aussi, le récipient primaire devrait être suffisamment résistant pour exclure pratiquement toute possibilité de rupture; les présentes directives sont fondées sur cette hypothèse. Il convient de noter que les données qui régissent le calcul des installations de stockage et de mise en œuvre de substances telles que l'ammoniac sous pression sont parfaitement connues, ce qui signifie que le risque d'une fuite majeure est fort peu probable. Lorsque l'ammoniac est associé à certaines substances, la possibilité d'une fissuration par corrosion sous contrainte pose néanmoins des problèmes particuliers.

6. L'ammoniac, même en faible quantité, est une substance dangereuse aussi bien sous forme liquide que sous forme gazeuse; la sécurité doit être par conséquent le premier souci dans toute installation de stockage d'ammoniac.

7. Les personnes qui interviennent à un titre ou à un autre dans le stockage de l'ammoniac devraient être parfaitement au courant de ce qui suit:

A. Aux températures ordinaires et à la pression atmosphérique, l'ammoniac se présente à l'état gazeux mais on peut le stocker sous forme de liquide sous pression, la pression dépendant de la température de stockage. Ainsi, à une température de 20°C, la pression manométrique sera de 7,5 bar environ; à une température typique de stockage semi-réfrigéré (0°C), la pression manométrique sera d'environ 3 bar. On peut également stocker l'ammoniac liquéfié à la pression atmosphérique en l'amenant à sa température d'ébullition sous la

pression atmosphérique normale, c'est-à-dire à -33°C environ.

B. L'ammoniac gazeux est incolore; son odeur suffocante révèle sa présence. Normalement plus léger que l'air, il se disperse à l'air libre grâce à sa force ascensionnelle. Le produit par vaporisation de l'ammoniac liquéfié peut toutefois donner avec l'air des mélanges plus lourds que l'air qui traînent au sol.

C. L'ammoniac n'attaque pas facilement les aciers au carbone mais réagit fortement avec le cuivre et les alliages contenant du cuivre. La réaction est accélérée par la présence d'eau, même en quantités infimes. Seuls des aciers et des alliages non ferreux ayant fait la preuve de leur bonne tenue au contact de l'ammoniac doivent être utilisés pour la fabrication de la tuyauterie, de la robinetterie et des accessoires. L'utilisation éventuelle de cuivre ou d'alliages de cuivre dans toute installation située à proximité d'un site de stockage d'ammoniac devrait être examinée avec le plus grand soin.

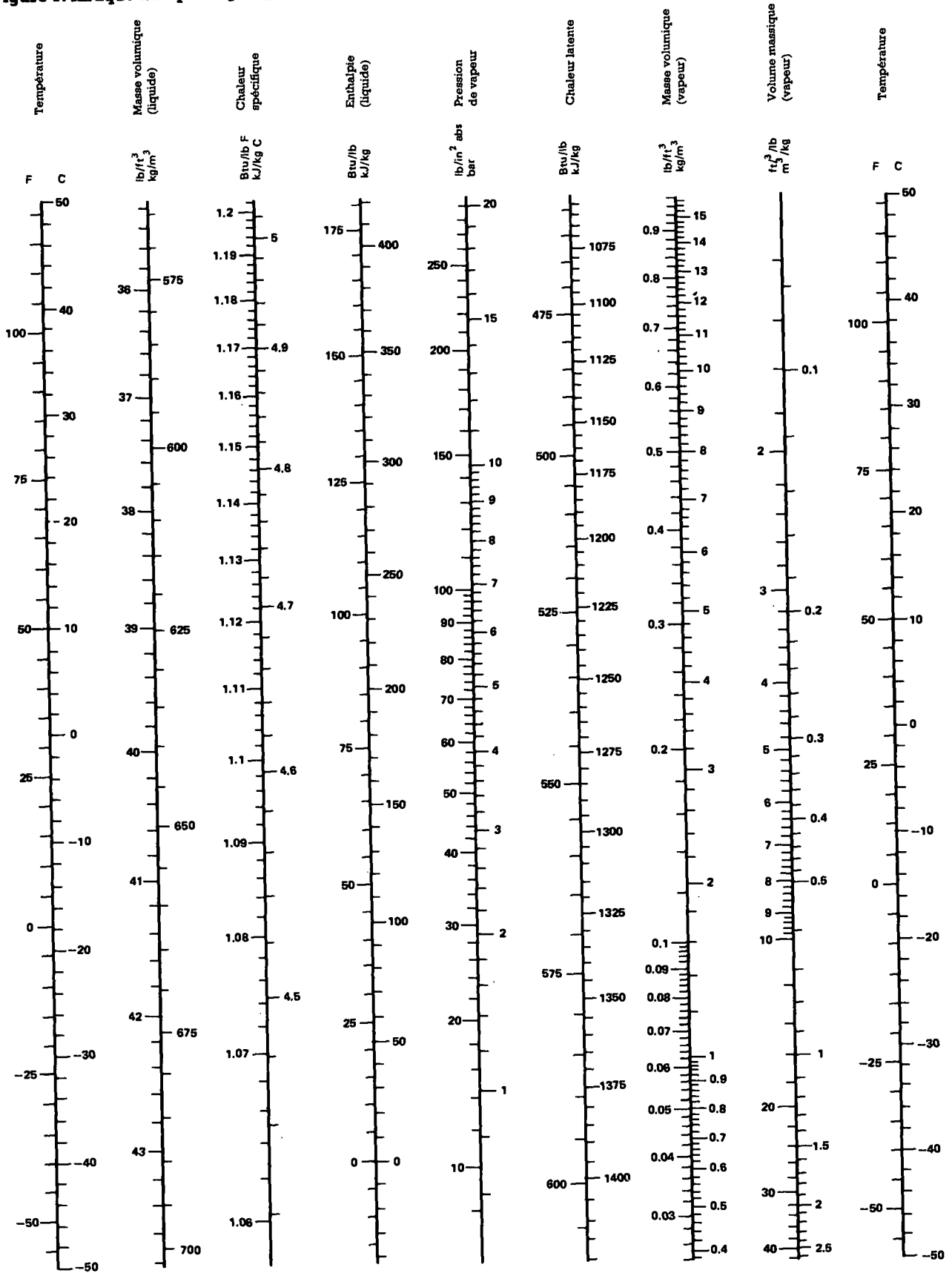
D. L'ammoniac réagit avec le mercure pour former des composés explosibles; on ne doit pas utiliser d'instrument contenant du mercure si celui-ci peut entrer en contact avec de l'ammoniac.

E. La plage d'explosivité de l'ammoniac dans l'air s'étend de 16 à 25 pour cent en volume; la température d'auto-ignition est de 651°C. L'allumage de tels mélanges est difficile mais, s'il se produit dans un espace confiné, il peut entraîner une explosion. Ce danger demeure néanmoins assez faible, et les installations mettant en œuvre de l'ammoniac ne sont pas considérées comme comportant d'importants risques d'incendie.

8. L'ammoniac est extrêmement soluble dans l'eau et dans certains solvants organiques; la dissolution s'accompagne d'un fort dégagement de chaleur. Voici quelques-unes des propriétés physiques de l'ammoniac:

Point d'ébullition sous pression atmosphérique normale	-33,35°C
Point de congélation	-77,70°C
Température critique	132,40°C
Pression critique (absolue)	114,25 bar
Chaleur latente (1 atm, -33°C)	1 370,76 kJ/kg
Masse volumique (liquide)	voir l'abaque
Pression de vapeur	voir l'abaque

Figure 1. Abaque indiquant quelques propriétés de l'ammoniac



Masse volumique (vapeur)	voir l'abaque
Limites d'explosivité	
(% en volume dans l'air)	16-25
Température d'auto-ignition	651°C

### Risques pour la santé

9. En faible concentration dans l'air, l'ammoniac a des effets irritants sur les yeux, le nez et la gorge. L'inhalation de concentrations élevées produit une sensation de suffocation, provoque rapidement des brûlures des voies respiratoires et peut entraîner la mort. L'ammoniac liquide provoque de graves brûlures s'il entre en contact avec la peau. L'exposition à de fortes concentrations de gaz ou le

contact direct avec le liquide peuvent occasionner des lésions graves. Le tableau 1 donne, en fonction de la concentration de gaz ammoniac, un aperçu des effets et des durées d'exposition à ne pas dépasser.

10. Il convient de se référer aux dispositions législatives et réglementaires applicables, comme aux paragraphes 89 à 97 des présentes directives.

[Les références faites ici et ailleurs dans les directives aux dispositions législatives et réglementaires ou aux normes en vigueur au Royaume-Uni n'ont pas été traduites.]

**Tableau 1. Risques pour la santé**

Concentration de gaz ammoniac (ppm v/v)	Effets généraux	Période d'exposition
5	Odeur décelable par la plupart des individus	
25		Limite d'exposition recommandée (longue durée, 8 h MPT <sup>1</sup> )
35		Limite d'exposition recommandée (courte durée, 10 min MPT <sup>1</sup> )
50	Irritation non persistante tout juste décelable par la plupart des individus	
70	Pas d'effet prolongé dans la plupart des cas	Exposition maximale, intolérable pour de longues périodes
400-700	Irritation immédiate du nez et de la gorge	Une exposition de 30 min à 1 h n'entraîne pas d'effets graves
1 700	Toux violente, forte irritation des yeux, du nez et de la gorge	Peut entraîner la mort après 30 min d'exposition
2 000-5 000	Toux violente, forte irritation des yeux, du nez et de la gorge	Peut entraîner la mort après 15 min d'exposition
5 000-10 000	Spasmes respiratoires, asphyxie rapide	Entraîne la mort en quelques minutes

<sup>1</sup> MPT : moyenne pondérée dans le temps.

11. Les présentes directives devraient s'appliquer à toutes les installations nouvelles et, dans la mesure où la chose est raisonnable et pratiquement réalisable, aux installations déjà en service. Il est cependant généralement admis que les installations déjà en service ne pourront pas satisfaire à toutes les exigences posées. Les aménagements qui pourraient être requis dépendront des particularités de chaque situation. La nature et l'urgence des modifications à apporter au matériel ou aux méthodes d'exploitation devraient faire l'objet d'une décision mûrement réfléchie, en tenant compte, le cas échéant, des changements intervenus depuis 1986.

## Réservoirs sphériques

### Implantation

12. Les réservoirs sphériques devraient être situés aussi loin que possible des zones d'habitation, des bâtiments abritant du public, des routes, des voies ferrées et des aéroports. Il convient de tenir compte de la direction des vents dominants.

13. Le choix du site devrait prendre en considération les plans éventuels de développement de la zone considérée.

14. Le choix du site étant, dans de nombreux cas, sujet à autorisation, l'administration locale devrait consulter l'autorité compétente au sujet des incidences de l'emplacement envisagé sur la sécurité de la population voisine. L'autorité compétente tiendra compte, dans son avis, des particularités de l'installation et de l'importance de la population voisine. Il est fort improbable qu'elle autorise l'implantation d'un réservoir sphérique à quelques centaines de mètres seulement d'une zone fortement habitée. Les constructeurs devraient par conséquent consulter l'autorité compétente à un stade avancé.

15. La proximité de routes et de voies ferrées devrait également être prise en considération. De solides glissières de sécurité devraient être installées, en cas de besoin, pour empêcher que l'installation ne soit endommagée par un véhicule. Un réservoir sphérique ne devrait en aucun cas être placé à moins de 25 m d'une route ou d'une voie de chemin de fer très fréquentée.

16. Il n'est guère possible de protéger un réservoir contre la chute d'un avion. La plupart des catastrophes aériennes se produisant au moment de l'atterrissage ou du décollage, on évitera de placer un réservoir près d'un aéroport.

17. Il convient de s'informer de la proximité éventuelle ou envisagée d'installations ou de procédés mettant en œuvre des substances inflammables ou explosibles. Si c'est le cas, le site choisi devrait mettre le réservoir à l'abri de la chaleur dégagée ou des débris projetés par un incendie ou une explosion prenant naissance dans les installations ou les procédés en question.

18. La zone de stockage devrait permettre aux véhicules d'y accéder de deux directions.

## Caractéristiques de la sphère

### Normes générales de construction

19. La sphère devrait être étudiée, fabriquée, érigée, inspectée et contrôlée conformément aux normes applicables aux récipients sous pression sans foyer soudés par fusion. Toutes les soudures intérieures devraient être contrôlées intégralement par magnétoscopie.

### Spécifications complémentaires

20. La sphère devrait être calculée pour résister aux contraintes auxquelles elle sera soumise lorsqu'elle est remplie à son niveau maximal admissible et qu'elle supporte en plus: a) une pression égale à la pression de vapeur de l'ammoniac à la température maximale prévue par le constructeur; b) une pression supplémentaire due à la présence éventuelle de gaz inertes; c) les charges extérieures, etc., définies dans les normes applicables aux récipients sous pression sans foyer soudés par fusion.

21. La température minimale de calcul devrait être la température la plus basse à laquelle la sphère pourra être soumise en service. Au Royaume-Uni, on préconise une température de  $-33^{\circ}\text{C}$ ; il ne faut en aucun cas adopter une température supérieure à  $-10^{\circ}\text{C}$ .

22. Les nouvelles sphères devraient subir, après leur montage, un traitement thermique de relaxation des contraintes; on procédera de même dans le cas des réservoirs sphériques déjà en service affectés pour la première fois au stockage de l'ammoniac. Ce traitement devrait être appliqué en tenant compte des connaissances les plus récentes et en s'assurant, dans le cas des très grandes sphères que l'on a fini d'assembler, que la relaxation des contraintes a été menée à bonne fin sans qu'il puisse subsister le moindre doute à cet égard.

### Matériaux

23. Pour minimiser le risque de fissuration par corrosion sous contrainte, les matériaux d'apport devraient avoir un comportement à la traction aussi voisin que possible de celui des tôles à souder. En outre, la résistance à la traction des tôles ne devrait pas dépasser la résistance maximale spécifiée. Le seuil de la limite élastique de l'acier entrant dans la construction du réservoir ne devrait pas dépasser  $350\text{ N/mm}^2$ . Les tôles destinées à la construction de la sphère devraient être soumises à des essais individuels après leur fabrication et être convenablement identifiées.

24. Il convient de proscrire tout pressage des tôles entraînant un écrouissage.

25. Il ne faut pas utiliser du cuivre ou des alliages contenant du cuivre (voir paragr. 7C).

### Appuis de la sphère

26. La plupart des sphères déjà en service reposent sur des jambages, mais d'autres méthodes peuvent être envisagées, notamment des anneaux d'appui circulaires ou des cuvettes de béton. Les appuis devraient être calculés pour supporter le poids du réservoir rempli d'eau. Les appuis tubulaires creux devraient être parfaitement étanches à l'eau et à l'air, dont la pénétration entraînerait peu à peu une corrosion intérieure. Il faut veiller tout particulièrement à ce qu'il n'y ait pas d'eau emprisonnée dans les appuis lors de leur fabrication. La hauteur de la sphère au-dessus du sol dépendra en partie de la facilité avec laquelle on veut pouvoir accéder à la robinetterie installée sous la sphère et, en partie également, du type de pompe choisi pour décharger l'ammoniac. La sphère doit être assez haute pour assurer une pression nette d'aspiration suffisante pour le bon fonctionnement de la pompe; cette hauteur peut néanmoins être réduite en logeant la pompe dans une fosse.

### Accessoires et appareils

27. *Orifices (généralités)*. Les orifices devraient être réalisés sous forme de tubulures bridées ou de collerettes fixées à l'aide de goujons filetés ou de boulons. La distance entre les soudures d'orifices adjacents ne devrait pas être inférieure à 50 mm. Les raccords filetés devraient être proscrits, et les tubulures ne devraient pas avoir un diamètre nominal inférieur à 50 mm.

28. Les tubulures devraient toutes être groupées dans les calottes du sommet et du fond. Toutes les tubulures auxquelles des tuyaux sont raccordés, y compris les tubulures de réserve, devraient être équipées de robinets d'isolement montés directement sur la tubulure. Chaque tubulure du fond devrait comporter deux robinets d'isolement placés près l'un de l'autre.

29. *Orifices d'accès (trous d'homme)*. Tout orifice d'accès à la sphère devrait être aménagé dans la calotte supérieure. Il est indiqué de monter les couvercles des trous d'homme sur charnières ou de prévoir des bossoirs pour éviter le recours à des appareils de levage. Le diamètre intérieur des trous d'homme devrait être d'au moins 600 mm.

30. *Limiteurs de pression*. Il faudrait prévoir au moins deux limiteurs de pression répondant aux normes applicables. Si la sphère n'est pas faite pour résister à un vide total, elle devrait être munie d'une soupape casse-vide. On peut soit installer des limiteurs de pression et des casse-vide séparés, soit prévoir des appareils combinés. Il devrait y avoir suffisamment de limiteurs de pression pour qu'on puisse à tout instant en démonter un pour l'examiner ou le réviser sans compromettre la sécurité de la sphère. Un robinet d'isolement devrait être inséré entre chaque limiteur de pression et la sphère. Un système ad hoc devrait interdire l'isolement de plus d'un limiteur de pression à la fois.

31. Les limiteurs de pression devraient être équipés de tuyaux de décharge suffisamment longs pour que le gaz qui s'en échappe ne puisse présenter un danger pour les personnes se trouvant sur la passerelle supérieure. La tuyauterie placée en aval d'un limiteur de pression devrait permettre de le démonter en toute sécurité. Les tuyaux débouchant à l'air libre devraient être protégés contre l'entrée de la pluie et comporter des orifices de drainage.

32. La section d'entrée de chaque limiteur de pression devrait être conçue ou protégée de manière qu'elle ne puisse être obturée par des composants montés à l'intérieur de la sphère, par exemple un flotteur de jauge qui se serait détaché accidentellement.

33. *Jauges de niveau*. Il faudrait prévoir l'installation d'au moins deux jauges de niveau indépendantes, dont l'une au moins devrait avoir une précision de  $\pm 12$  mm. Un indicateur à flotteur et ruban (de préférence à tube amortisseur) ou un flotteur guidé par un tube en acier inoxydable contenant un aimant suiveur pourront convenir. La jauge de secours peut être du type à pression différentielle (c'est-à-dire actionnée par la pression statique du liquide contenu de la sphère); dans ce cas, elle doit être étudiée et installée avec soin afin que sa «branche liquide» soit toujours pleine.

34. *Alarme de niveau haut*. Il convient de prévoir un dispositif d'alarme de niveau haut qui soit indépendant des jauges de niveau. Ce dispositif devrait être réglé de telle sorte que son déclenchement donne le temps d'intervenir.

35. *Tubulures d'emplissage.* La tubulure d'emplissage devrait comporter un déflecteur intérieur orientant le jet du liquide, autant que faire se peut, afin qu'il ne vienne pas frapper les flotteurs des jauges de niveau et qu'il ne se forme pas de gouttelettes susceptibles d'être aspirées dans le tuyau de soutirage de vapeurs de l'installation de réfrigération.

36. *Bossages de mise à la terre.* Les sphères devraient être pourvues de deux bossages de mise à la terre. Leurs goujons et leurs rondelles devraient être en acier austénitique et non en laiton; les conducteurs de cuivre devraient être entourés d'une gaine les mettant à l'abri de tout contact avec l'ammoniac. Lorsque la sphère est portée par des jambages, les bossages de mise à la terre devraient être disposés sur deux appuis diamétralement opposés.

37. *Autres tubulures.* On devrait envisager la mise en place d'un nombre approprié de tubulures de réserve pour faire face aux besoins futurs.

38. *Robinets montés sur les tubulures de sortie.* Les tubulures de sortie disposées dans le fond de la sphère devraient être équipées de robinets manœuvrables à distance et qui se ferment automatiquement dès qu'il se produit une panne ou une défaillance dans le système d'exploitation. Une variante consiste à installer des robinets extérieurs, manœuvrables à distance, à condition qu'ils soient en acier austénitique et boulonnés directement sur les tubulures de sortie.

39. Lorsqu'il n'y a au fond qu'une seule tubulure de sortie munie d'un robinet intérieur, il convient d'étudier la possibilité de prévoir un dispositif permettant d'intervenir manuellement pour débloquer un robinet grippé.

### Spécifications relatives à la construction

40. *Préparation et protection des tôles.* Avant d'être amenées au chantier, les tôles devraient être prêtes à l'assemblage et protégées contre la corrosion.

41. *Méthodes de soudage et qualifications des soudeurs.* Ces points devraient faire l'objet d'une convention entre l'acheteur et le fournisseur, mais satisfaire en tout cas aux normes applicables.

42. *Relaxation des contraintes dans les tôles comportant des raccords soudés.* Avant leur départ pour le chantier, les calottes du sommet et du fond doivent subir un traitement thermique approprié après soudage de leurs tubulures et autres raccords, en vue de relaxer les contraintes induites lors du soudage. Le même traitement doit s'appliquer aux tôles comportant des attaches de jambage ou des consoles d'appui et aux autres assemblages soudés. En ce qui concerne les attaches, la partie traitée des jambages doit comprendre au moins une longueur hors calorifuge égale au diamètre de jambage considéré.

43. *Soudures des tubulures.* Toutes les soudures de l'enveloppe devraient être du type à pénétration totale et conformes aux normes applicables. Il est préférable de souder les brides à rebord plutôt que d'avoir recours à des brides à embrèvement.

44. *Fixations temporaires.* Toutes les fixations temporaires devenues inutiles devraient être enlevées avec soin, et non à l'aide d'un marteau ou d'une masse. Les résidus des soudures devraient être enlevés et lissés par meulage, et les zones meulées examinées par magnétoscopie afin de déceler d'éventuelles fissures. Ce travail devrait être entrepris avant la relaxation des contraintes.

45. *Fixations permanentes.* Il convient d'aménager, au sommet de la sphère, une plate-forme centrale assez grande pour que l'on puisse accéder sans difficulté à la robinetterie et aux divers accessoires qui s'y trouvent. Cette plate-forme devrait être portée par des consoles soudées à la calotte supérieure avant son traitement de relaxation; les soudures devraient être à pénétration totale.

46. *Escaliers d'accès.* Les escaliers d'accès ne devraient pas être soudés sur la sphère.

47. Ils devraient permettre d'accéder au sommet de la sphère. Il est préférable qu'ils soient indépendants de la sphère. Une solution consiste à les fixer aux jambages d'appui de la sphère, mais aucun de leurs éléments ne devrait être soudé sur l'enveloppe elle-même. Dans certains cas, il convient de ménager du jeu pour absorber les différences de tassement de la sphère et de l'escalier.



48. Les escaliers d'accès devraient avoir une largeur d'au moins 750 mm et comporter des paliers intermédiaires toutes les seize marches, une main courante et des plinthes.

### Contrôles et épreuves de la sphère

49. Les contrôles de la sphère devraient inclure une épreuve de remplissage à l'eau et des essais conformes aux normes applicables. Chaque sphère devrait être examinée de manière approfondie pendant sa construction, conformément aux spécifications de fabrication. On procédera en outre:

- a) au contrôle intégral par magnétoscopie de toutes les soudures intérieures pour détecter d'éventuelles fissures, notamment aux endroits où des goussets articulés et des fixations temporaires ont été enlevés avant la mise en service (voir la note du paragraphe 125 en ce qui concerne la technique à employer); ce contrôle servira de base aux examens ultérieurs;
- b) à l'inspection visuelle complète et à la détection par magnétoscopie d'au moins 10 pour cent de la longueur de chaque soudure en bout sur la surface extérieure de la sphère;
- c) au contrôle par ultrasons de l'épaisseur des parois de l'enveloppe et des tubulures et à la détection par ultrasons d'éventuelles fissures dans les soudures fixant les tubulures sur l'enveloppe;
- d) à une date ultérieure, à d'éventuels contrôles par émission acoustique; si de tels contrôles sont envisagés, les données de référence devraient être recueillies lors de l'épreuve hydraulique des nouvelles sphères.

### Fondations

#### Normes à respecter

50. Les fondations des réservoirs sphériques à ammoniac et de leurs escaliers devraient être conformes aux normes applicables et aux pratiques qui ont fait leurs preuves. Les fondations devraient être calculées pour supporter le poids de la sphère remplie d'eau.

### Tassement du terrain

51. Les calculs devraient tenir compte des caractéristiques du sol et de la charge qu'il peut supporter sans danger; on prêtera une attention particulière au tassement probable. Il importe de s'assurer que les différences de tassement entre la sphère vide et la sphère pleine restent dans des limites acceptables pour la tuyauterie raccordée à la sphère, évitant ainsi que les tubulures de la sphère ne soient soumises à des contraintes trop importantes (notamment par des efforts cycliques).

### Epreuves

52. Lors des épreuves hydrauliques, il est vivement conseillé d'effectuer, en quatre points différents, des mesures de la flèche pendant le remplissage et la vidange pour vérifier si le tassement est acceptable.

### Cuvettes de rétention

53. Autour de la structure supportant la sphère, il faudrait aménager une cuvette de rétention dont les murs auront une hauteur d'au moins 1 mètre et dont le diamètre sera supérieur à celui de la sphère. La capacité de la cuvette devrait correspondre à 20 pour cent au moins de celle de la sphère.

Le fait de pouvoir retenir, dans une cuvette, de l'ammoniac liquide s'échappant d'une sphère dépend de la pression de stockage et des circonstances de l'incident. Si la fuite se produit lorsque l'ammoniac est sous pression, une partie du contenu de la sphère sera dispersée dans l'atmosphère, mais du liquide pourra s'accumuler au sol. Une distance approximativement égale au rayon de la sphère devrait séparer si possible les murs de la cuvette de la projection verticale de l'équateur de la sphère.

54. La structure supportant la sphère devrait être protégée contre l'impact des véhicules par des barrières anticollision ou par les murs de la cuvette.

55. Le radier de la cuvette devrait être étanche. Il devrait comporter, en son point le plus bas, un puisard pouvant être vidangé en manœuvrant un robinet à bride normalement fermé. On pourra ainsi vidanger l'eau qui s'est accumulée; les autres liquides pourront être évacués par pompe.

56. L'accès aux appareils installés au sommet de la sphère devrait normalement se faire de l'extérieur de la cuvette.

## Matériel auxiliaire

### Généralités

57. Des recommandations détaillées visant les matériels de pompage et de réfrigération associés à une installation de stockage d'ammoniac sortiraient du cadre des présentes directives. Les techniques utilisées sont bien connues, et de nombreux constructeurs de renom seront en mesure de fournir des matériels appropriés. Dans les paragraphes qui suivent, on se contentera d'attirer l'attention sur les points qui revêtent une importance particulière pour la sécurité.

### Récipients sous pression et échangeurs de chaleur

58. Les récipients sous pression et les échangeurs de chaleur devraient satisfaire aux normes applicables, notamment en ce qui concerne leurs matériaux constitutifs.

59. Les fonds bombés devraient avoir été traités par recuit de normalisation.

60. Les récipients sous pression et les échangeurs de chaleur devraient pouvoir résister aux combinaisons de pression et de température les plus défavorables susceptibles de se produire dans des conditions normales ou exceptionnelles; il convient de tenir compte, le cas échéant, des conditions particulières imposées par un service à des températures inférieures à 0°C.

61. Les récipients, leur tuyauterie et leur robinetterie ne devraient comporter aucun élément de cuivre ou contenant du cuivre.

62. Seuls des aciers ayant une limite élastique dont le seuil ne dépasse pas 350 N/mm<sup>2</sup> devraient être utilisés. Les soudures des assemblages (notamment celles de la tuyauterie) qui sont au contact de l'ammoniac liquide devraient être traitées en vue de la relaxation des contraintes. Les pièces en contact avec du gaz ammoniac devraient être traitées de la même façon si les circonstances l'exigent.

Certains aciers, sauf les aciers austénitiques, sont sujets à fissuration par corrosion sous contrainte en présence d'ammoniac liquide contaminé par de l'oxygène. Au fur et à mesure que le gaz ammoniac est soutiré de la sphère et reliquéfié, des impuretés incondensables (y compris l'oxygène) se concentrent inévitablement dans le liquide se trouvant dans les tuyauteries et les récipients des installations réfrigérées. Etant donné que la relaxation des

contraintes par traitement thermique freine le processus de fissuration par corrosion sous contrainte, les pièces susceptibles d'être affectées seront traitées de cette manière.

63. Les compresseurs peuvent être alternatifs ou rotatifs; ils peuvent être soit lubrifiés, soit fonctionner à sec. Les compresseurs lubrifiés entraînent une certaine contamination de l'ammoniac. Le choix du compresseur sera dicté par le niveau de contamination tolérable.

L'huile contenue dans les compresseurs rotatifs sert davantage à les rendre étanches et à les refroidir qu'à les lubrifier.

### Pompes

64. Le type de pompe le plus fréquemment utilisé est la pompe centrifuge multicellulaire à axe horizontal comportant une garniture mécanique d'étanchéité suivie d'un presse-étoupe conventionnel à garniture molle.

65. Une pompe à moteur chemisé, sans presse-étoupe, est également acceptable.

Le fonctionnement des pompes ne sera satisfaisant, notamment quand le niveau du liquide dans la sphère est bas, que si la hauteur nette d'aspiration est suffisante. La hauteur requise par la pompe choisie devrait être vérifiée au stade des études, et la sphère placée à une hauteur suffisante au-dessus du sol pour que la pompe puisse assurer une vidange complète. Il ne faut pas oublier qu'une tuyauterie d'aspiration de grande longueur réduit la pression d'aspiration. Un mauvais calorifugeage ou un dégazage insuffisant de la tuyauterie d'aspiration entraîne la formation de vapeurs et peut provoquer un bouchon de vapeurs dans la pompe. S'il n'est pas possible, pour une raison ou une autre, de ménager une hauteur d'aspiration suffisante pour une pompe installée au niveau du sol, une hauteur supplémentaire peut être obtenue soit en installant la pompe dans une fosse, soit en utilisant une pompe verticale à moteur chemisé installée dans un puits. Dans ce dernier cas, la pompe doit être protégée contre les effets du gel.

Les pompes à moteur chemisé sans garniture offrent l'avantage d'être complètement étanches. De ce fait, elles ne posent jamais de problèmes dus aux fuites mineures qui se produisent fréquemment dans les pompes à garniture d'étanchéité. Ce type de pompe est donc particulièrement indiqué là où il y a une présence humaine pendant les heures de travail, par exemple dans les postes de chargement des véhicules-citernes.

66. La tuyauterie conduisant le liquide de la sphère à la pompe devrait avoir une pente uniforme et être convenablement calorifugée. Elle devrait par ailleurs être aussi courte que possible, dans la mesure où les déformations provoquées par l'affaissement des fondations de la sphère et les cycles thermiques le permettent, cela fin d'éviter

que des contraintes excessives n'y prennent naissance.

67. Il faudrait prévoir un by-pass permettant le retour d'une partie du débit de la pompe à la sphère pour refroidir la pompe au cas où le robinet de soutirage serait fermé alors que la pompe tourne encore. Le diaphragme ou le clapet limitant le débit de retour devrait être monté aussi près que possible de la sphère; la tuyauterie de retour devrait déboucher dans la partie vapeur de la sphère.

Lorsque le débit est limité par un diaphragme, il faut compter avec des projections en aval du diaphragme; il en résulte un écoulement en deux phases qui risque d'entraîner des vibrations et une rupture de fatigue de la tuyauterie. Il est donc préférable de placer le diaphragme près de la sphère pour que la tuyauterie soit constamment en phase liquide.

68. Un dispositif devrait signaler toute perte de débit de la pompe par suite d'un bouchon de vapeurs ou d'une autre cause. Ce dispositif peut être à pression différentielle ou être déclenché par une baisse du débit.

69. Les matériaux entrant dans la construction des pompes devraient pouvoir résister aux températures inférieures à 0°C (voir paragr. 80). L'utilisation de cuivre ou d'alliages contenant du cuivre est à proscrire pour toutes les pièces de la pompe (voir paragr. 7C).

### **Tuyauterie: conception**

70. A. La tuyauterie devrait être conforme aux normes applicables; elle devrait également satisfaire aux autres conditions définies dans la présente section.

B. La tuyauterie, la robinetterie et les autres accessoires devraient pouvoir résister aux combinaisons de pression et de température les plus défavorables susceptibles de se produire.

C. Toute augmentation de la résistance d'un métal aux températures inférieures à 0°C devrait être ignorée dans le calcul des contraintes.

D. La tuyauterie devrait être correctement alignée pour éviter que des contraintes n'y prennent naissance lors de son assemblage; cela n'exclut aucunement l'application correcte d'une précontrainte destinée à réduire les contraintes dues au retrait thermique. Il convient de renoncer à l'application des tolérances spécifiées par les règles

de conception pour des variations de courte durée par rapport aux conditions normales d'exploitation.

E. La «plage des contraintes admissibles» définie par les règles de conception pour l'analyse thermique devrait être ramenée à la moitié des valeurs admises par ces règles.

F. Le nombre des joints devrait être aussi réduit que possible. La préférence devrait aller aux joints soudés, les joints à bride étant réservés au raccordement des pièces comportant des brides (robinets, pompes, etc.).

G. Il est recommandé d'utiliser des garnitures en spirale; pour les joints à embrèvement, on peut également employer des garnitures en fibre d'amiante comprimée ou en aluminium.

H. L'ammoniac liquide ayant un coefficient de dilatation thermique élevé, les tuyauteries dans lesquelles du liquide risque d'être emprisonné (entre deux robinets, etc.) devraient être munies d'un dispositif de dégazage sûr.

I. L'ammoniac liquide contenu dans une tuyauterie peut atteindre une température voisine du point d'ébullition; il importe dès lors de tenir compte, au stade des études, de la possibilité et des incidences d'un écoulement en deux phases.

J. Il convient de ne pas surdimensionner les épaisseurs afin d'éviter les risques de rupture fragile qui augmentent avec l'épaisseur.

K. Les soudures devraient être du type à pénétration totale à la racine sur toute la longueur des joints.

L. Les essais des soudures et les épreuves de qualification des soudeurs devraient comprendre des essais de résilience des soudures et des zones adjacentes; les spécifications visant ces essais et ces épreuves devraient être conformes aux dispositions les plus récentes.

M. Chaque tuyauterie devrait subir un traitement thermique de relaxation des contraintes (voir la note du paragraphe 62).

### **Tuyauterie: matériaux constitutifs**

71. A. Les matériaux entrant dans la fabrication de la tuyauterie et de sa raccorderie devraient, le cas échéant, pouvoir résister aux ruptures fragiles aux températures inférieures à 0°C (voir paragr. 80).

B. La robinetterie devrait normalement être à brides et faite d'acier au carbone ayant subi un traitement de normalisation en cours de fabrication. Si l'on utilise une robinetterie à raccords soudés, elle devrait être faite d'acier au carbone ayant subi des essais de résilience.

C. On ne devrait utiliser ni cuivre ni alliages contenant du cuivre pour la robinetterie et la tuyauterie (voir paragr. 7C).

D. Les électrodes de soudage devraient être choisies pour des applications à basse température. Afin de minimiser les risques de fissuration par corrosion sous contrainte, les matériaux d'apport devraient avoir un comportement à la traction aussi voisin que possible de celui des tuyaux à souder.

#### **Tuyauterie: fabrication et assemblage**

72. A. Les raccords – coudes, tés, réducteurs, bouchons d'extrémité – devraient être en acier forgé et avoir des extrémités se prêtant au soudage en bout.

B. Les raccords à souder par emboîtement ne devraient pas avoir un diamètre nominal supérieur à 40 mm.

C. Des raccords à visser ne devraient être utilisés que s'il n'y a pas d'autre solution; ils devraient être limités aux dispositifs prêts à brancher de faible diamètre, par exemple aux manomètres.

D. Si la tuyauterie doit être raclée au furet, il est préférable de prévoir des coudes forgés à grand rayon.

E. Aux températures inférieures à 0°C, il convient d'éviter les coudes en onglet, les coudes segmentés et les piquages.

F. Les branchements devraient être fixés par des soudures à pénétration complète.

G. Les coudes ouvragés et les raccords soudés devraient subir un traitement thermique de relaxation des contraintes.

H. Les soudures en bout devraient être intégralement radiographiées; les soudures à clin devraient être examinées aux fins de détection des fissures éventuelles.

#### **Tuyauterie: épreuves**

73. La tuyauterie devrait subir des épreuves de pression avant d'être mise en service. Ces épreuves devraient de préférence être effectuées à l'aide d'eau sous pression et être suivies d'un séchage. Lorsqu'une épreuve hydraulique n'est pas réalisable, on peut avoir recours à une épreuve pneumatique à l'air ou à l'azote, à condition de prendre toutes précautions utiles contre les dangers que comporte cette méthode.

#### **Matériel électrique**

74. Le choix du matériel électrique doit tenir compte des propriétés de l'ammoniac (voir notamment paragr. 7E).

75. Les bâtiments (notamment ceux qui abritent des compresseurs) à l'intérieur desquels le matériel électrique peut être exposé à une fuite d'ammoniac devraient être dotés d'un système de ventilation débouchant directement à l'air libre.

76. Le matériel électrique installé dans ces bâtiments devrait être d'un type conçu pour les atmosphères explosives, conformément aux dispositions applicables, ou être pourvu de disjoncteurs commandés par des détecteurs appropriés.

77. Aucun moteur ne devrait comporter des pièces exposées en cuivre nu.

78. Les appareils de coupure devraient être logés de préférence dans des bâtiments secs, chauds et fermés pour écarter toute pénétration de vapeurs d'ammoniac.

79. Les tuyauteries véhiculant de l'ammoniac ne devraient pas traverser les salles de commande ou de distribution.

#### **Matériaux pour les équipements auxiliaires**

80. Ces matériaux devraient être conformes aux règles les plus récentes en matière de conception des équipements en question, compte tenu, le cas échéant, de leur comportement aux températures inférieures à 0 °C.

81. Les aciers austénitiques ne sont pas sujets aux ruptures fragiles aux basses températures.

## Isolation thermique

### Généralités

82. La nécessité d'une isolation thermique dépend des conditions dans lesquelles le réservoir est exploité. La température de service est fréquemment telle qu'il se produirait un apport de chaleur extérieure en provenance de l'atmosphère. Dans ce cas, en l'absence d'utilisation des vapeurs qui se formeraient, il faut soit minimiser l'élévation de la température intérieure en isolant, soit augmenter la puissance de l'installation de réfrigération. L'isolation thermique devrait être conforme aux normes applicables et aux présentes directives.

### Matériaux

83. *Matériaux isolants.* Dans la mesure du possible, les matériaux d'isolation devraient offrir une résistance élevée au feu; c'est le cas par exemple du verre expansé, de l'isocyanurate expansé ou du polyuréthane d'ignifugation. Les matériaux de finition devraient être choisis en fonction de leur pouvoir d'ignifugation et de leur résistance aux effets corrosifs de l'environnement intérieur et extérieur.

84. *Étanchéité à la vapeur.* La présence d'un écran pare-vapeur revêt la plus haute importance.

85. *Revêtement extérieur.* Lorsqu'on utilise un revêtement métallique, il est indiqué d'avoir recours à des rivets aveugles électrolytiquement compatibles avec les tôles employées.

86. *Fixation du matériau isolant.* Il est parfois nécessaire de maintenir le revêtement isolant par des anneaux métalliques. Ceux-ci devraient être conçus de telle manière qu'il suffise de les fixer sur l'enveloppe de la sphère aux calottes du sommet et du fond et sur les tôles recevant les supports des jambages. Les goussets nécessaires au positionnement et à la fixation des anneaux devraient être soudés aux tôles conformément aux normes applicables. Le constructeur devrait procéder à cette opération avant le traitement des tôles en vue de la relaxation des contraintes. Le sous-traitant chargé de l'isolation ne devrait en aucun cas être autorisé à souder des ferrures de fixation sur l'enveloppe, pas plus avant le montage qu'après. La fixation de goujons par voie de soudage par explosion n'est pas admise.

87. Isolation des jambages. Lorsqu'une sphère est supportée par des jambages, ceux-ci devraient être isolés thermiquement sur une longueur suffisante pour réduire l'apport local de chaleur.

### Sécurité de l'installation de stockage

88. En plus des dispositifs de sécurité qui équipent l'installation de stockage, les mesures ci-après devraient être prises pour garantir la sécurité d'exploitation.

A. La zone qui entoure la sphère et ses installations annexes devrait être clairement signalée pour indiquer les risques potentiels et mettre en garde contre tout accès non autorisé. La méthode suivie peut varier d'une installation à l'autre. De simples panneaux d'avertissement pourront suffire dans certains cas; dans d'autres, il pourra être nécessaire de clôturer des installations isolées.

B. Lorsque l'accès est limité par une clôture, par exemple, deux grilles d'entrée devraient être prévues en des points diamétralement opposés afin qu'en cas de situation critique les véhicules d'intervention puissent pénétrer dans le périmètre clôturé quelle que soit la direction du vent. Des sorties de secours devraient être aménagées aux angles de l'enclos; pour des raisons de sécurité, elles devraient être conçues pour interdire l'accès des personnes non autorisées.

C. Des bouches d'incendie devraient être placées tout autour du périmètre du site, à quelque 25 m de la sphère, afin que l'accès à une source d'eau demeure ouvert quelle que soit la direction du vent. Des rideaux d'eau sont efficaces pour freiner la propagation des nuages d'ammoniac. Lors de l'installation d'un rideau d'eau, il importe de veiller à ce que l'eau qui s'en échappe ne puisse entrer en contact avec de l'ammoniac liquide; il en résulterait un dégagement beaucoup plus intense de gaz ammoniac. On devrait disposer d'eau sur l'ensemble du site pour lutter contre les débords et les fuites de peu d'importance.

D. Le site de stockage devrait être convenablement éclairé pendant la nuit.

E. Une ou plusieurs manches à vent devraient être installées en des points proéminents afin d'être facilement visibles pour le personnel du site.

F. Si une coupure du courant alimentant les compresseurs de réfrigération pouvait avoir des conséquences graves se traduisant par un important rejet d'ammoniac par les limiteurs de pression, il faudrait prévoir un groupe électrogène de secours ou installer une torchère.

G. Des glissières de sécurité suffisamment solides devraient être placées en des points appropriés pour protéger les sections vulnérables de la tuyauterie ou les matériels renfermant de l'ammoniac de l'impact des véhicules (voir paragr. 15).

H. Il devrait y avoir des boutons-poussoirs d'arrêt d'urgence à chaque sortie ainsi qu'aux autres endroits où leur présence est nécessaire. Ils devraient déclencher une alarme sonore et arrêter l'installation sans créer de danger. Si le site est équipé d'un système général d'alarme à l'intention du personnel et du public, le dispositif que l'on vient de mentionner devrait en faire partie.

I. Les instruments indicateurs essentiels dont dépend la sécurité de l'installation devraient faire l'objet d'une surveillance continue et permettre en cas de besoin une lecture à distance. Ces conditions sont impératives en ce qui concerne la pression du volume vapeur dans la sphère et le niveau du volume liquide.

Pression. Dans des conditions d'exploitation normales, les compresseurs de réfrigération sont mis en marche et arrêtés automatiquement dès que les pressions correspondantes sont atteintes. Si le mécanisme de mise en marche et d'arrêt tombe en panne, la pression à l'intérieur de la sphère risque de monter ou de baisser de manière excessive. La sécurité est assurée en dernier ressort par les limiteurs de pression, mais le préposé à l'installation devrait être averti à temps de la panne afin de pouvoir intervenir avant l'entrée en action des limiteurs de pression. Les valeurs de la pression devraient être enregistrées par un appareil installé dans la salle de commande, lequel devrait déclencher une alarme sonore en cas de pression trop haute ou trop basse.

Niveau de liquide. L'indication du niveau liquide dans la sphère devrait être transmise à la salle de commande. Etant donné que ce niveau ne change que lentement, un enregistrement n'est pas indispensable. La sphère devrait également être équipée d'un avertisseur indépendant de niveau haut qui déclenche une alarme sonore dans la salle de commande lorsque le niveau en question est atteint (voir aussi paragr. 34).

J. Des douches à fort débit devraient être installées à l'intention des personnes aspergées accidentellement d'ammoniac liquide, afin qu'elles puissent disposer immédiatement d'une source

d'eau adéquate. Ces douches devraient être installées autant que possible en deux points distincts, de préférence à proximité des endroits où des tuyaux sont fréquemment branchés ou débranchés.

K. Il devrait y avoir suffisamment d'extincteurs à CO<sub>2</sub> ou à hydrocarbures halogénés aux points stratégiques de l'installation.

L. Les matériels de sécurité suivants devraient se trouver sur place:

- des appareils respiratoires appropriés permettant l'évacuation rapide de toutes les personnes se trouvant sur le site de stockage;
- deux appareils respiratoires ayant une autonomie de plus longue durée, pour les sauvetages;
- deux combinaisons isolantes complètes pour les sauvetages et les situations critiques;
- des gants et des bottes en matière plastique ou en caoutchouc;
- des lunettes de protection étanches;
- des boîtes contenant du matériel de premiers secours;
- plusieurs flacons pour l'irrigation des yeux, placés en différents points du site.

### **Formation en matière de sécurité et consignes pour le personnel**

89. Bien que l'ammoniac soit un produit dangereux, il peut être mis en œuvre sans danger par un personnel compétent et bien formé utilisant un matériel approprié et appliquant des méthodes éprouvées.

#### **Formation**

90. En plus de la formation visant l'exploitation courante, le personnel chargé d'assurer la marche de l'installation devrait être informé:

- a) des propriétés de l'ammoniac et du comportement du gaz liquéfié;
- b) des conséquences d'une mauvaise utilisation du matériel et des risques que peut entraîner une fuite d'ammoniac liquide ou de gaz ammoniac;
- c) des mesures à prendre en cas de débord d'ammoniac;

- d) de l'utilisation correcte des divers types d'équipement de protection individuelle, d'extincteurs et d'appareils respiratoires.

### Sécurité du personnel

91. La direction devrait s'assurer que le personnel se conforme en tout temps à des méthodes de travail sûres.

92. L'ensemble du personnel devrait participer régulièrement à des exercices d'application des mesures à prendre en cas de situation critique.

93. Un cours de recyclage portant sur l'utilisation correcte des extincteurs, des appareils respiratoires et de l'équipement de protection devrait être organisé au moins une fois par an.

94. Les douches de décontamination, les flacons pour l'irrigation des yeux et l'équipement de protection devraient être vérifiés à intervalles réguliers pour s'assurer qu'ils sont en bon état. Il faut les protéger contre le gel.

95. Tous les membres du personnel et toutes les personnes qui pénètrent sur le site de stockage devraient porter des appareils respiratoires d'un type approprié prêts à être utilisés.

96. Il devrait être interdit de fumer dans le périmètre du site de stockage; des panneaux d'interdiction devraient être placés en plusieurs points stratégiques.

97. Le personnel devrait disposer d'un équipement de protection adapté à la tâche spécifique à accomplir.

### Mise en service, exploitation et mise hors service

98. Les procédures à suivre lors de la mise en service d'une sphère de stockage d'ammoniac et lors de sa mise hors service aux fins d'inspection sont exposées ci-après. Elles ne portent pas sur la mise en service des installations de réfrigération et des autres installations auxiliaires. La tâche la plus importante, lors de toute mise en service, consiste à éliminer les impuretés dont la présence pourrait favoriser la fissuration de la sphère par corrosion sous contrainte. Étant donné que l'oxygène dissous dans l'ammoniac liquide paraît être l'un des principaux facteurs de ce type de fissuration, il importe de purger la sphère le mieux possible avant d'y admettre de l'ammoniac liquide.

99. La fissuration par corrosion sous contrainte peut être évitée si l'on soumet la sphère à un traitement thermique bien conduit en vue de relaxer les contraintes avant le premier remplissage avec de l'ammoniac. Il est néanmoins conseillé de maintenir la teneur en oxygène aussi basse que possible, non seulement à titre de mesure de sécurité supplémentaire, mais encore pour minimiser le risque de fissuration par corrosion sous contrainte en d'autres endroits de l'installation.

100. Chacune des deux méthodes de purge de l'air contenu dans la sphère exposées ci-après est destinée à ramener la teneur moyenne en oxygène du gaz dans la sphère à moins de 0,025 en volume avant l'introduction d'ammoniac liquide; cette teneur garantit que la concentration d'oxygène dans l'ammoniac liquide ne dépassera pas 2,5 ppm en poids pendant et après le remplissage, cette valeur étant considérée comme la limite supérieure de sécurité lorsque la teneur en eau est d'environ 100 ppm. Les méthodes préconisées consistent à purger la sphère soit au moyen d'eau puis d'azote, soit au moyen d'azote uniquement; elles permettent d'assurer à la fois l'élimination maximale de l'oxygène et le rejet minimal d'ammoniac dans l'atmosphère.

Pour minimiser la probabilité d'une fissuration par corrosion sous contrainte, il faut éliminer toute trace d'oxygène du système aussitôt que possible après la mise en service de la sphère. Bien que l'on ne dispose pas de données fiables sur les concentrations maximales d'oxygène au-dessous desquelles il n'y aura pas de fissuration par corrosion sous contrainte, on considère que la concentration d'oxygène ne devrait pas être supérieure à 2,5 ppm en poids lorsque la teneur en eau est égale à 100 ppm seulement. Une règle empirique consiste à supposer que pour chaque 1 pour cent d'oxygène qui reste dans la sphère après une purge à l'azote, il restera environ 1 ppm d'oxygène dans l'ammoniac liquide, à condition que la purge à l'ammoniac subséquente se fasse avec soin. Pour plus de sécurité, il est indiqué de remplir la sphère aussi vite que possible après sa mise en service et d'évacuer à fond les gaz non condensables contenus dans le système. Il convient par la suite de ne négliger aucun effort pour maintenir la concentration d'oxygène au niveau le plus bas possible.

101. Toutes les méthodes de mise en service et de mise hors service décrites ici comportent le rejet de gaz ammoniac à l'air libre. Si ce rejet peut poser un problème pour l'environnement, le gaz évacué devrait être absorbé dans un laveur approprié sans que l'eau de lavage puisse être aspirée dans la sphère, notamment lors de la remise en service.

## Mise en service

102. *Contrôles préalables.* Avant la mise en service, il convient de vérifier que:

- a) l'intérieur de la sphère est propre et sec;
- b) le matériel de réfrigération est en bon état de fonctionnement;
- c) les instruments indicateurs et les dispositifs d'alarme fonctionnent correctement;
- d) les jauges à flotteur se déplacent librement et transmettent des indications correctes;
- e) les limiteurs de pression sont bien installés et ont été réglés à la pression voulue;
- f) les couvercles de trou d'homme sont en place et la tuyauterie est bien raccordée.

103. *Détection des fuites et élimination de l'oxygène.* Après avoir été contrôlée, la sphère est prête pour la détection des fuites éventuelles et la purge destinée à éliminer l'oxygène. Il est préférable de choisir, parmi les différentes méthodes de purge, celles qui procèdent par refoulement soit par l'eau et l'azote, soit par l'azote seul.

- a) *Refoulement par l'eau et l'azote.*

La sphère est remplie aussi complètement que possible d'eau propre, pour autant que cette manière de faire soit compatible avec les exigences techniques et la résistance du sol, et que la présence d'une pellicule résiduelle formée par l'eau et les solides dissous puisse être tolérée dans l'ammoniac. L'eau est ensuite refoulée par de l'azote que l'on introduit au sommet de la sphère, ce qui permet d'ordinaire de ramener la concentration d'oxygène à moins de 2 pour cent. Si ce seuil n'est pas atteint, on peut appliquer des cycles successifs de pressurisation et de dépressurisation pour ramener la concentration d'oxygène à une valeur acceptable. Il convient à ce stade de procéder à des contrôles pour détecter les fuites éventuelles.

On a parfois recours à une variante de cette méthode qui consiste à remplir complètement la sphère d'eau, puis à abaisser le niveau de l'eau d'une soixantaine de centimètres par refoulement à l'azote. Le gaz contenu dans la calotte est ensuite pressurisé et dépressurisé jusqu'à ce que la concentration d'oxygène atteigne une valeur

acceptable. L'eau restante est enfin chassée par de l'azote sous pression. L'azote évacué peut être utilisé pour la purge des matériels auxiliaires. Cette méthode peut être choisie lorsque de l'air risque d'être emprisonné par l'eau dans les tubulures et les trous d'homme situés au sommet de la sphère.

Tout au long de la purge, il est capital de maintenir une pression positive pour empêcher que de l'air ne soit aspiré.

- b) *Refoulement par l'azote seul*

Après avoir pressurisé la sphère à l'azote jusqu'à sa pression de service, on examine s'il y a des fuites. La sphère est ensuite dépressurisée lentement; l'azote évacué peut être utilisé pour purger les matériels auxiliaires. Les cycles de pressurisation et de dépressurisation sont répétés jusqu'à ce que la concentration du gaz en oxygène soit égale ou inférieure à 2 pour cent.

Le refoulement à l'azote n'est pas indiqué pour la purge des sphères conçues pour des pressions très faibles. Il faut, dans ce cas, avoir recours soit au refoulement par l'eau et l'azote décrit au paragraphe 103a), soit à la méthode utilisée pour les réservoirs à pression atmosphérique.

104. *Purge au gaz ammoniac.* Une fois que la concentration d'oxygène dans la sphère est tombée au-dessous de 2 pour cent, on peut y admettre du gaz ammoniac pour parachever la purge.

Il faut disposer d'une source de gaz ammoniac pour purger l'azote lors de la mise en service. La source dépendra du type d'installation. Il faut prévoir environ 1 t de gaz par 1 000 m<sup>3</sup> de volume de la sphère.

105. L'ammoniac est admis au sommet de la sphère. Le gaz refoulé qui s'échappe par le fond est canalisé pour être évacué à un niveau élevé. Au début, le gaz ammoniac est introduit lentement en vue d'obtenir un écoulement idéal à l'intérieur de la sphère. On crée ainsi un nuage stable de vapeurs d'ammoniac dans la calotte de la sphère et l'on réduit le mélange à l'interface ammoniac/azote à un minimum. Le débit de gaz ammoniac peut ensuite être augmenté. La purge ne devrait pas être interrompue, sous peine de donner naissance à un mélange indésirable.

106. Après l'apparition des premières traces d'ammoniac dans le gaz évacué, la concentration augmente rapidement. La purge peut être arrêtée en fermant le robinet de sortie lorsque la



concentration d'ammoniac à la sortie atteint au moins 90 pour cent.

Une concentration élevée d'ammoniac est indispensable si l'on veut éviter que les compresseurs ne chauffent exagérément par suite d'un excès de gaz non condensables. Cette concentration ne devrait pas être inférieure à 90 pour cent.

107. L'ammoniac peut aussi être utilisé pour la purge des matériels auxiliaires. On élève la pression intérieure de la sphère à l'aide de gaz ammoniac, avant d'y admettre de l'ammoniac liquide, pour éviter tout refroidissement brusque de la sphère.

### Exploitation

108. Il est généralement admis que l'ammoniac anhydre pur n'occasionne pas par lui-même de fissuration des aciers au carbone par corrosion sous contrainte. Il semble néanmoins que la contamination de l'ammoniac par l'oxygène encourage ce phénomène.

109. Lors du contrôle de certains réservoirs d'ammoniac, on a constaté un degré considérable de fissuration par corrosion sous contrainte. Les aciers à haute résistance sont plus sujets à ce type de fissuration que les autres. Les impuretés qui en sont responsables ont été identifiées comme étant de l'oxygène. L'ammoniac fraîchement produit est exempt d'oxygène, mais il peut être facilement contaminé pendant son transfert à l'utilisateur.

110. Il convient de s'inspirer des directives ci-après:

A. Aucun effort ne devrait être négligé pour maintenir la concentration d'oxygène dans l'ammoniac au niveau le plus bas possible.

B. Il faut envisager sérieusement de porter la teneur en eau de l'ammoniac à 0,2 pour cent en poids; en effet, la présence d'eau à cette concentration ou à une concentration supérieure paraît constituer une protection dans la phase liquide. Si l'on ajoute de l'eau, il faut que ce soit de l'eau distillée ou de l'eau de condensation de l'installation de qualité équivalente.

C. La teneur en oxygène de l'ammoniac liquide devrait être contrôlée au moins une fois par mois. En cours d'exploitation, elle ne devrait pas dépasser 2,5 ppm en poids. Si un contrôle révèle une valeur sensiblement supérieure, il faut procéder à des mesures complémentaires pour déterminer si cela

est imputable à la difficulté très réelle de prévenir toute entrée d'oxygène étranger dans l'appareil d'analyse, ou à l'inobservation des consignes d'exploitation, auquel cas l'omission devrait être identifiée et réparée. Si l'on prend soin d'exclure tout oxygène étranger lors du prélèvement des échantillons et de leur introduction dans l'appareil d'analyse, on peut avoir recours à la chromatographie en phase gazeuse pour détecter une éventuelle présence d'oxygène dans l'ammoniac liquide.

### Mise hors service

111. Les paragraphes qui suivent visent les méthodes permettant de débarrasser un réservoir sphérique de stockage des traces d'ammoniac liquide ou de gaz ammoniac qu'il peut contenir, afin que l'on puisse y pénétrer sans danger pour l'inspecter.

112. Il faut commencer par soutirer autant d'ammoniac liquide que possible à l'aide des pompes normalement utilisées pour ce produit. S'il reste du liquide dans la sphère, il importe de le transférer par pression différentielle dans un réservoir voisin ou dans la citerne d'un véhicule. Il faut veiller à ce que la totalité du liquide soit soutirée de la sphère avant de ramener la pression à sa valeur atmosphérique; dans le cas contraire, il se produirait un dégagement excessif de vapeurs et, ce qui est plus dangereux, la température dans la sphère, ou tout au moins dans une partie de la sphère, pourrait s'abaisser jusqu'à atteindre  $-33^{\circ}\text{C}$ . Certaines sphères n'ont pas été calculées pour résister à une telle température.

113. La pression dans la sphère est ensuite abaissée dans toute la mesure où la sécurité de fonctionnement du compresseur l'autorise.

114. On isole ensuite le compresseur et l'on réduit la pression manométrique dans la sphère à zéro en dégazant prudemment à l'air libre.

115. On introduit alors de l'air au point le plus bas de la sphère (en utilisant par exemple la tubulure de fond ayant le plus grand diamètre) et l'on dégaze à l'air libre au point le plus élevé de la sphère. L'air devrait être admis lentement pour maintenir une bonne interface ammoniac/air. Le gaz ammoniac étant beaucoup moins dense que l'air, il sera refoulé naturellement par un effet de cheminée.

Une fois que l'écoulement naturel a pris fin, on peut mettre en marche des ventilateurs extracteurs pour augmenter le débit comme l'indique le paragraphe 116. Pendant la purge, il se formera à l'interface ammoniac/air une mince couche d'un mélange de gaz explosible. On considère généralement que le risque d'explosion est peu important; cependant, dans les cas où un risque même faible serait inacceptable, on peut purger à l'azote avant de purger à l'air. Il faut éviter de purger avec de l'air lorsqu'un orage menace d'éclater.

116. Après avoir ouvert au fond la ou les tubulures de plus fort diamètre, on coupe le cas échéant l'alimentation en azote, on branche des ventilateurs extracteurs appropriés aux tubulures du sommet de la sphère et l'on aspire de l'air dans la sphère jusqu'à ce que l'atmosphère intérieure soit assez riche en oxygène pour permettre d'y pénétrer sans danger.

117. Cette méthode de mise hors service évite d'utiliser de l'eau pour la purge, mais elle risque d'être lente suivant la teneur en ammoniac de l'air au point de dégazage. Il est possible aussi que les conditions régnant à l'intérieur de la sphère soient incommodantes. Dans ce cas, l'intérieur de la sphère devrait être lavé à l'aide d'un produit chimique avant que l'on y pénètre sans équipement de protection. Lorsqu'on dispose d'eau ammoniacale, on peut aussi s'en servir pour absorber l'ammoniac résiduel une fois que la pression aura été réduite au niveau atmosphérique. Il importe de veiller à ce qu'un volume suffisant de gaz de purge (air ou azote) puisse être admis pour écarter la formation d'un vide.

## Inspection et maintenance

### Généralités

118. La première inspection approfondie, effectuée par une personne compétente, devrait avoir lieu deux ans au plus tard après la mise en service; elle devrait être suivie d'inspections approfondies périodiques à des intervalles déterminés par une personne compétente. Si les résultats sont satisfaisants, les intervalles pourront être graduellement augmentés, allant d'un minimum de deux ans à un maximum de six ans. Toute présence d'une importante fissuration par corrosion sous contrainte devrait être interprétée comme un résultat insatisfaisant.

119. Les inspections ultérieures ne devraient pas nécessairement comprendre une épreuve hydraulique, à moins que des réparations touchant l'intégrité du réservoir aient été effectuées entre-temps.

### Inspection intérieure

120. Les sphères en service dont les soudures intérieures n'ont pas été soumises à un contrôle magnétoscopique intégral devraient subir un tel contrôle lors de la prochaine inspection approfondie.

121. Les sphères de stockage d'ammoniac devant être remises en service après une période d'inactivité (autre qu'une interruption pour raisons d'inspection ou de réparation) devraient être certifiées à nouveau par une personne compétente comme étant propres à cet usage. La nature des contrôles nécessaires devrait être définie par une personne compétente, compte tenu des antécédents du réservoir, de sa précédente utilisation et des résultats des contrôles antérieurs. La première inspection approfondie après la remise en service devrait avoir lieu deux ans après au plus tard, la périodicité des inspections ultérieures étant déterminée comme pour les nouveaux réservoirs (paragr. 118).

122. Les sphères en service appelées à stocker de l'ammoniac pour la première fois devraient subir un traitement complet de relaxation des contraintes avant d'être certifiées à nouveau par une personne compétente comme étant propres à ce nouvel usage. La nature des contrôles nécessaires devrait être définie par une personne compétente; ils devraient comprendre en tout cas un contrôle magnétoscopique intégral des soudures intérieures et des endroits où des goussets articulés ou d'autres fixations temporaires ont été enlevés. La première inspection approfondie après la remise en service devrait avoir lieu au plus tard deux ans après, la périodicité des inspections ultérieures étant déterminée comme pour les nouveaux réservoirs (paragr. 118).

123. Les inspections visées par les paragraphes 118 et 122 devraient comprendre les contrôles requis par les paragraphes 124 à 139.

### Contrôles magnétoscopiques

124. Ces contrôles devraient comporter une inspection visuelle et une magnétoscopie des joints soudés conforme aux normes applicables. Les méthodes appliquées et la densité de flux choisie devraient être approuvées par une personne compétente.

125. Le champ magnétique devrait être induit à l'aide de bobines électromagnétiques (les palpeurs et les bobines exploratrices à circuit ouvert sont à proscrire) en vue de produire une densité de flux magnétique suffisamment élevée pour révéler la présence de fissures significatives.

Il faut adopter une méthode suffisamment sensible pour déceler des fissures très fines. La méthode utilisée devrait avoir une sensibilité au moins égale à celle offerte par une culasse magnétique à courant alternatif. La définition peut être améliorée par un liquide de ressuage fluorescent.

126. Les contrôles magnétoscopiques devraient porter sur toutes les soudures intérieures et toutes les zones où des goussets ont été enlevés. Si des défauts significatifs sont constatés, l'inspection suivante devrait avoir lieu deux ans après au plus tard et devrait comporter une nouvelle magnétoscopie de chacune de ces soudures et de ces zones. Si, par contre, aucun défaut significatif n'a été relevé, les inspections ultérieures devraient porter en tout cas sur :

- a) l'ensemble des raccords en T soudés sur la moitié inférieure de la sphère;
- b) 25 pour cent des soudures circonférentielles du fond et de la deuxième ceinture;
- c) la calotte du sommet, les raccords soudés en T des première et deuxième ceintures, et 25 pour cent des soudures circonférentielles adjacentes.

### Contrôle par ultrasons

127. L'épaisseur des parois de l'enveloppe et des tubulures devrait être contrôlée par ultrasons. Les soudures entre l'enveloppe et les tubulures devraient être examinées aux ultrasons pour y déceler d'éventuelles fissures (paragr. 49).

128. Dans la mesure du possible, ces contrôles devraient être effectués de l'intérieur.

### Contrôle par émission acoustique

129. Des contrôles par émission acoustique pourront compléter la détermination de l'intégrité de la sphère.

### Inspection extérieure

130. Il faut également procéder à un examen rapide de la surface extérieure. S'il s'agit d'une sphère en service sans isolation thermique, l'examen devrait comprendre une inspection visuelle complète et un contrôle magnétoscopique sur 10 pour cent au moins de la longueur de chaque soudure en bout. Dans le cas d'une sphère en service avec isolation thermique, un contrôle par ultrasons portant sur 10 pour cent au moins de la longueur de chaque soudure extérieure en bout peut être effectué de l'intérieur en lieu et place de l'examen extérieur. Si l'on décele des défauts significatifs, l'examen devrait être approfondi selon le jugement de la personne compétente.

131. Chaque fois qu'une inspection ultérieure aura révélé des défauts intérieurs significatifs, il serait indiqué de procéder à un contrôle par ultrasons à partir de l'intérieur de la sphère pour vérifier l'intégrité de la surface extérieure au droit de chaque défaut intérieur, et cela avant de passer à l'analyse dont il est question au paragraphe 140.

132. Les tubulures fixées sur l'enveloppe dont l'épaisseur ne peut être contrôlée par ultrasons à partir de leur alésage devraient être débarrassées localement de leur revêtement isolant afin d'être rendues accessibles à l'examen.

133. La structure porteuse extérieure devrait être examinée afin de détecter toute détérioration de la couche protectrice et toute attaque du métal. Les soudures des fixations devraient subir un contrôle magnétoscopique; toute microfissure devrait être contrôlée.

134. La tuyauterie partant de la sphère devrait être inspectée sur tout son parcours jusqu'aux premiers robinets d'isolement, et la solidité de sa fixation contrôlée. Le revêtement calorifuge devrait être enlevé sur les soudures en bout afin de permettre leur radiographie intégrale et la recherche de tout signe de corrosion extérieure.

135. Tous les robinets montés sur cette tuyauterie (robinets d'isolement, arrêts de débit en

cas de débit excessif, robinets manœuvrés à distance, etc.) devraient être démontés et révisés.

136. Les divers instruments indicateurs et les dispositifs d'alarme devraient être révisés et réétalonnés en cas de besoin.

137. Les limiteurs de pression devraient eux aussi être révisés et soumis à des essais au moins tous les deux ans. Les systèmes de verrouillage de l'isolement devraient être vérifiés de manière approfondie dans la mesure où leur construction le permet.

138. L'isolation thermique extérieure devrait être examinée en ce qui concerne son intégrité et son pouvoir isolant. L'enveloppe de la sphère devrait être dénudée aux endroits où l'isolation semble endommagée pour faciliter l'inspection de la surface métallique avant de procéder à la remise en état du revêtement isolant, notamment lorsque la sphère se trouve dans une atmosphère agressive.

139. Les goujons et les boulons de fermeture ou de fixation sur la sphère ainsi que les joints des brides devraient tous être remplacés. Les joints et les boulons des brides des tuyaux entre la sphère et le premier robinet d'isolement devraient également être remplacés.

### Rapport d'inspection approfondie

140. Toute détérioration significative constatée lors d'un examen devrait être consignée dans un rapport d'inspection, en précisant la nature des méthodes de contrôle utilisées. Le réservoir devrait être réévalué sous l'angle de son adéquation au stockage d'ammoniac. Les charges maximales autorisées devraient être confirmées ou modifiées, selon les cas. Tout défaut significatif constaté dans une soudure ou dans le matériau lui-même devrait faire l'objet d'un examen critique en ce qui concerne ses incidences sur l'intégrité du réservoir, son origine et la probabilité que des défauts du même genre se reproduisent. Lorsqu'un défaut a été éliminé par meulage ou ressoudage, il convient d'étudier avec soin les répercussions éventuelles sur la pression maximale d'utilisation. Lors de l'analyse des contraintes, il est indiqué de tenir compte des contraintes résiduelles et opérationnelles et de corriger de manière appropriée, le cas échéant, les valeurs maximales admissibles. L'importance des défauts qui subsistent

devrait être évaluée en analysant les mécanismes de fracture; ces défauts devraient faire l'objet d'une surveillance attentive après la remise en service du réservoir. Lorsqu'on peut penser que des défauts vont se propager, il convient de procéder à une analyse du même genre pour mieux déterminer la date de la prochaine inspection. Lorsqu'on a dû enlever du métal ou qu'un amincissement s'est produit, la pression maximale d'utilisation devrait être révisée à la baisse en fonction de l'épaisseur restante du métal. Le certificat d'homologation devrait spécifier:

- a) la pression maximale d'utilisation;
- b) la pression minimale d'utilisation;
- c) la température maximale d'utilisation;
- d) la température minimale d'utilisation;
- e) le remplissage maximal admissible d'ammoniac;
- f) le poids maximal admissible du contenu;
- g) la date de la prochaine inspection approfondie.

### Personne compétente

141. La «personne compétente» devrait posséder les connaissances, l'expérience et les moyens nécessaires pour la recherche, la détection et l'évaluation des défauts que l'on peut rencontrer dans les récipients contenant de l'ammoniac (fissures dues à la corrosion sous contrainte, etc.). Elle devrait avoir accès aux moyens appropriés de contrôle non destructif et de laboratoire et être techniquement capable, sur la base des résultats de l'inspection, d'apprécier l'état du réservoir et de définir les paramètres d'exploitation et les conditions d'utilisation ultérieure conformément aux exigences de la sécurité.

### Inspection de routine

142. En plus des inspections périodiques approfondies, il convient de procéder aux vérifications techniques ci-après:

A. Les robinets, les dispositifs d'alarme et les systèmes de déclenchement automatique devraient être vérifiés périodiquement pour s'assurer de leur bon fonctionnement.

B. Lorsque les sphères sont entourées de cuvettes de rétention, il faut veiller à l'évacuation des

eaux de surface. Le sol du site devrait être débarrassé des débris et des broussailles.

C. Les bouches d'incendie devraient être entretenues et révisées de manière régulière.

D. Les revêtements calorifuges extérieurs devraient être en bon état.

E. Les postes d'équipement de protection individuelle devraient être vérifiés chaque jour. Les matériels qu'ils contiennent (appareils respiratoires, lunettes de protection, gants, douches de décontamination, etc.) devraient être en bon état.

F. Les notices d'instruction, le numéro d'identification de la sphère et la liste des pièces qui composent sa robinetterie devraient être affichés bien en vue et convenablement éclairés de jour et de nuit.

G. L'éclairage du site devrait être vérifié de manière régulière et le matériel d'éclairage convenablement entretenu.

### **Plan d'intervention en cas de situation critique**

143. Il est impératif pour l'entreprise d'envisager l'éventualité, si faible qu'elle puisse être, d'un important rejet d'ammoniac et d'élaborer un plan d'action destiné à y faire face. Le plan en question visera les situations qui peuvent être maîtrisées par l'entreprise avec le concours éventuel des services de police et de sapeurs-pompiers locaux; ceux-ci devraient être consultés dans tous les cas. Le plan d'intervention devrait indiquer comment les mesures relevant de l'entreprise viendraient s'inscrire dans celles prises sous la direction générale de la police locale au cas où un accident majeur toucherait la zone environnante. La police devrait aussi être consultée au sujet des informations à fournir aux entreprises qui exploitent des installations voisines afin de leur permettre de mettre au point les mesures qu'elles devraient prendre en cas de situation critique.

144. Pour les installations à hauts risques relevant d'une réglementation particulière:

a) la direction doit élaborer un plan d'intervention spécifiant les mesures à prendre à l'intérieur de l'entreprise;

- b) l'administration locale doit établir un plan d'intervention précisant les mesures à prendre à l'extérieur de l'entreprise;
- c) des dispositions doivent être prises pour informer la population susceptible d'être menacée par un accident majeur survenant dans l'entreprise.

145. Les services locaux de police et de sapeurs-pompiers devraient connaître l'emplacement des installations à hauts risques et leurs voies d'accès. Ils devraient être au courant des conséquences possibles d'un important rejet d'ammoniac et savoir quel équipement de protection ils devraient utiliser. Les mesures qu'ils devraient prendre en cas de situation critique devraient être convenues d'avance. Il est capital que les sapeurs-pompiers, en particulier, comprennent parfaitement les mesures à mettre en œuvre en cas de rejet d'ammoniac.

146. L'entreprise devrait fixer par écrit et faire connaître les mesures à prendre en cas de situation critique. Ces mesures devraient porter sur:

- a) les dispositions immédiates à mettre en œuvre par le personnel d'exploitation, et notamment le déclenchement de l'alarme interne et, en cas de besoin, la mobilisation des services locaux de police et de sapeurs-pompiers;
- b) la désignation d'une personne qui devra se trouver sur les lieux et être chargée de coordonner les interventions du personnel de l'entreprise et des services extérieurs;
- c) la désignation d'un cadre supérieur qui aura pour tâche de s'assurer que toutes les mesures possibles ont été prises – tant par l'entreprise que par les services extérieurs – et que les lignes de communication indispensables ont été établies et fonctionnent de manière satisfaisante (il convient d'élaborer à cette fin une liste de contrôle appropriée);
- d) le choix de points convenables à partir desquels on pourra contrôler la situation (il convient de choisir deux points complémentaires par rapport à la direction du vent);
- e) dans les cas où l'installation de stockage fait partie d'une usine, un système d'alarme et un plan d'intervention pour le reste du site en vue de communiquer à l'ensemble des travailleurs

les mesures à prendre sur les différents lieux de travail.

147. Il convient d'organiser de temps à autre, en coordination avec les services locaux de police et de sapeurs-pompiers, des exercices de mise en pratique du plan d'intervention de l'entreprise.

148. Il existe plusieurs publications contenant des directives détaillées pour l'élaboration d'un plan d'intervention de ce genre.

## Réservoirs cylindriques

### Introduction

149. Les réservoirs destinés au stockage d'ammoniac liquide sous pleine pression à la température ambiante sont généralement de forme cylindrique et à fonds bombés. Ils peuvent être installés verticalement ou horizontalement; il est toutefois plus courant de les disposer horizontalement, notamment lorsque l'ammoniac est soutiré par pompage de type conventionnel.

150. Les réservoirs de ce type sont généralement assemblés en atelier. Leurs dimensions sont dès lors limitées puisqu'ils doivent être transportés par la route, ce qui impose également des restrictions réglementaires au gabarit des charges transportées. La capacité du four de traitement thermique dont dispose le constructeur pour la relaxation des contraintes est un autre facteur pouvant limiter les dimensions de ces réservoirs.

151. Dans l'industrie, de nombreux procédés se contentent de faibles quantités d'ammoniac et le stockage sous pression est le seul moyen d'alimenter un secteur qui demeure très important et pour lequel la plupart des livraisons se font par la route.

152. Il est conseillé, dans tous les cas, de limiter la quantité d'ammoniac stocké sous pression à la valeur la plus faible compatible avec son utilisation industrielle.

153. La figure 2 présente le schéma simplifié d'une petite installation de stockage sous pression.

154. Le lecteur est invité à se référer aux informations générales contenues au début de cette annexe et à en extraire les données qui s'appliquent au stockage de l'ammoniac à la température

ambiante dans des récipients cylindriques. Une grande partie des recommandations relatives au stockage de l'ammoniac en réservoirs sphériques vaut également pour les réservoirs cylindriques.

### Propriétés physiques de l'ammoniac et risques pour la santé

Voir les paragraphes 1 à 11 de cette annexe.

### Implantation

155. Certaines normes minimales doivent être respectées lors du choix de l'emplacement des réservoirs chargés à partir de véhicules-citernes; elles sont exposées ci-après. Ces normes n'ont pas priorité sur les conditions qui peuvent être imposées par les pouvoirs publics locaux ou par l'inspection du travail.

156. Les installations de stockage d'ammoniac devraient être situées à l'intérieur d'un périmètre sûr et aussi à l'écart que possible des zones habitées et des bâtiments à l'usage du public. Les distances suivantes devraient être respectées:

Capacité de stockage	Distance minimale
Jusqu'à 100 t	250 m
Plus de 100 t	500 m

157. Ces installations devraient se trouver de préférence à l'air libre. Lorsqu'elles sont situées à l'intérieur d'un bâtiment, celui-ci devrait être construit de telle sorte qu'une fuite d'ammoniac débouche obligatoirement à l'air libre et non dans des lieux de travail occupés.

158. L'aire de dépotage devrait se trouver à l'air libre et être interdite à toute autre circulation pendant le déchargement des véhicules-citernes. Les camions-citernes ne devraient en aucun cas stationner sur la voie publique lors du déchargement.

159. Lors du choix d'un site, il convient de tenir compte de la nécessité de minimiser les dommages aux installations de production ou d'entreposage voisines pouvant résulter d'un incendie ou d'une explosion. Par ailleurs, le site retenu devrait mettre le réservoir sous pression et son équipement immédiat à l'abri des dommages susceptibles

d'être causés par un accident prévisible quelconque.

160. Lors du choix d'un site, il convient aussi de tenir compte des plans de développement de la zone considérée.

### Caractéristiques du réservoir

#### Normes générales de construction

161. Le réservoir devrait être étudié, fabriqué, érigé, inspecté et contrôlé conformément aux normes applicables aux récipients sous pression sans foyer soudés par fusion. Toutes les soudures en bout devraient être intégralement radiographiées, les autres soudures étant soumises à un contrôle aux ultrasons ou à un contrôle magnétoscopique. Il est en outre conseillé de faire subir une magnétoscopie intégrale à toutes les soudures intérieures afin que les résultats puissent en être consignés et guider ainsi les contrôles ultérieurs. Lorsque l'assemblage du réservoir est terminé, il convient de procéder à un traitement de relaxation des contraintes. Aucun autre travail de soudage ne devrait être entrepris après ce traitement, à moins que l'on ne procède à un nouveau traitement de relaxation des contraintes induites localement par le soudage.

#### Spécifications complémentaires

162. *Pression de calcul.* Tout réservoir destiné au stockage d'ammoniac à la température ambiante devrait être conçu pour une pression absolue d'au moins 15,5 bar. Si le réservoir n'est pas destiné en premier lieu au stockage et fait partie d'un ensemble de production intégré, il peut être calculé pour une pression moins élevée, à condition qu'il soit convenablement protégé contre toute surpression.

163. *Température minimale.* La température minimale à prendre en compte devrait correspondre à la température la plus basse à laquelle le réservoir peut être exposé en service. Il est conseillé d'adopter la valeur de  $-33^{\circ}\text{C}$ ; la température minimale ne devrait en aucun cas être supérieure à  $-10^{\circ}\text{C}$ .

#### Matériaux

164. *Métaux.* Les aciers utilisés devraient être conformes aux normes applicables. D'autres conditions ont déjà été exposées aux paragraphes

23 à 25 de cette annexe. On peut également avoir recours à des aciers satisfaisant aux mêmes critères en ce qui concerne la teneur en carbone, la résistance à la traction et la résilience. L'utilisation du cuivre et des alliages contenant du cuivre est à proscrire.

165. *Matériaux non métalliques.* Les caoutchoucs synthétiques qui conviennent le mieux sont le caoutchouc nitrile et le néoprène, pour autant que l'on respecte leurs températures limites. Le butyl-caoutchouc et l'éthylène propylène, qui sont moins perméables, sont toutefois sujets à l'attaque des hydrocarbures; ils devraient, pour cette raison, être réservés aux systèmes véhiculant du gaz ammoniac. Le polytétrafluoréthylène, le polypropylène, le polyéthylène et le nylon, par contre, résistent relativement bien aux hydrocarbures. La plupart des autres caoutchoucs et plastiques ne se prêtent pas à cet usage, les élastomères fluorés étant particulièrement sensibles à ce type d'agression.

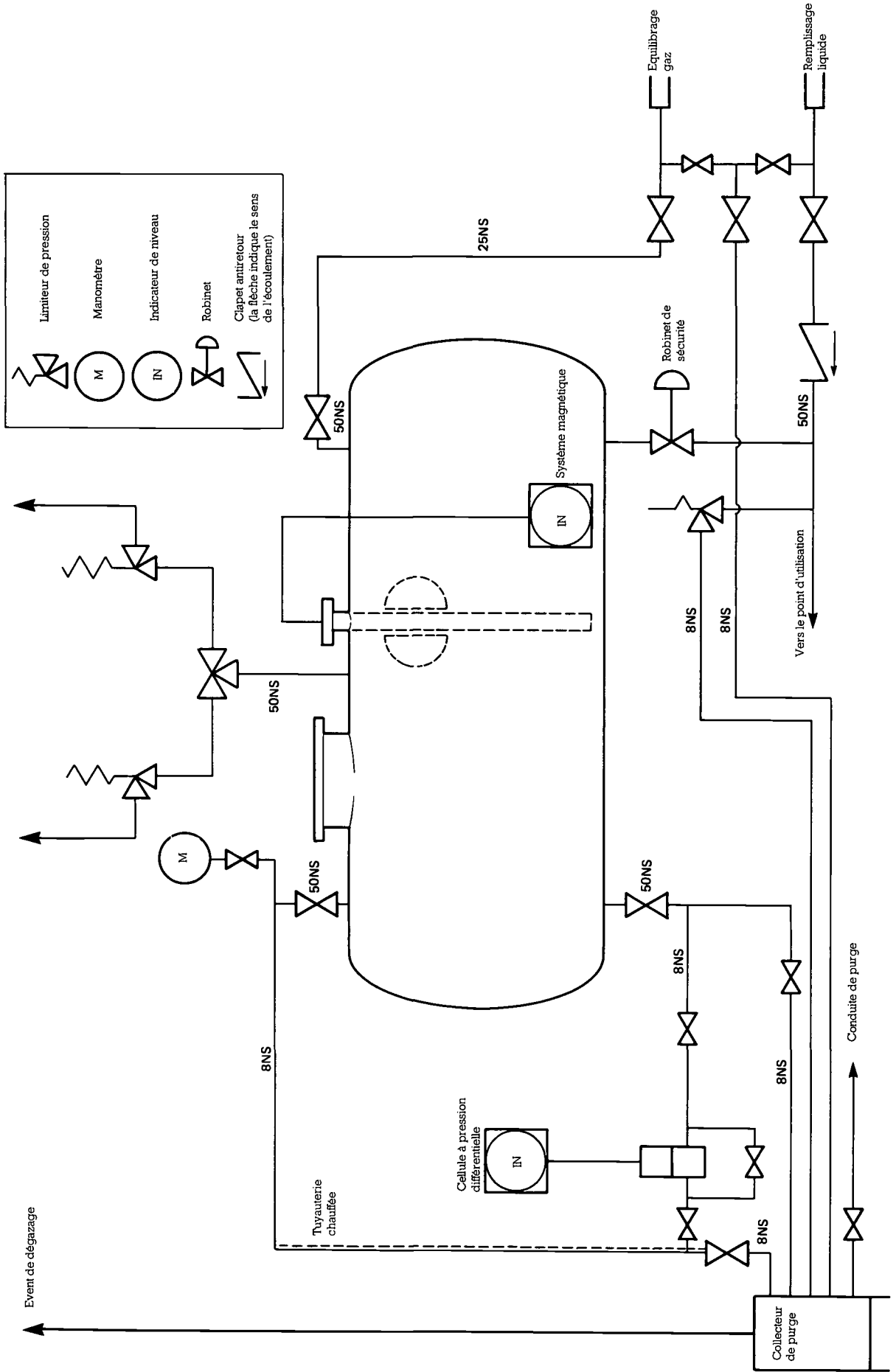
#### Appuis du réservoir

166. Les réservoirs horizontaux devraient reposer sur des berceaux en acier; lorsque ceux-ci sont soudés sur l'enveloppe du réservoir, les soudures devraient être continues afin d'exclure tout risque de corrosion entre les berceaux et l'enveloppe. Quant aux réservoirs verticaux, ils devraient avoir une jupe soudée sur l'enveloppe; la pose directe du réservoir sur un berceau en béton est inacceptable.

#### Accessoires et appareils

167. *A. Généralités.* Le nombre des orifices pratiqués dans le réservoir devrait être aussi limité que possible. Dans l'intérêt de la sécurité, les tubulures et les premiers robinets d'isolement devraient tous avoir de préférence un diamètre nominal de 50 mm au moins, supérieur en tout cas à 25 mm. Tous les piquages ainsi que les tubes plongeurs situés au-dessous du niveau maximal normal de liquide dans le réservoir devraient être protégés par des robinets d'isolement manœuvrables à distance; cette disposition ne vise pas les tuyaux de faible diamètre aboutissant à des indicateurs, etc., situés dans la zone protégée du site. Les robinets d'isolement devraient être montés de préférence directement sur la tubulure, c'est-à-dire sans tube intermédiaire. Si cette

Figure 2. Schéma simplifié d'une petite installation typique de stockage d'ammoniac sous pression





manière de faire est impraticable, le tube de raccord devrait être aussi court que possible et être fabriqué, tout comme le robinet, en acier austénitique inoxydable.

B. *Orifice d'accès.* Cet orifice devrait se trouver au sommet du réservoir; il devrait avoir un diamètre intérieur de 600 mm, supérieur en tout cas à 460 mm.

C. *Limiteurs de pression.* Les limiteurs de pression devraient être conformes aux normes applicables. Leurs tuyaux de décharge devraient aboutir au-dessus du point le plus élevé des ouvrages avoisinants et, en tout cas, à 5 m au moins au-dessus du point le plus haut du réservoir. La protection des réservoirs contre les surpressions est exposée en détail aux paragraphes 30 à 32.

D. *Indicateurs de niveau.* Chaque réservoir devrait comporter au moins un indicateur de niveau. On ne devrait pas utiliser des indicateurs à niveau visible dont le verre est soumis à la pression du gaz ammoniac.

E. *Bossages de mise à la terre.* Lorsqu'il est nécessaire de mettre les réservoirs à la terre, ils devraient être pourvus de deux bossages appropriés. Leurs goujons et leurs rondelles devraient être en acier austénitique et non en laiton; les conducteurs de cuivre devraient être gainés pour prévenir tout contact du métal avec l'ammoniac.

F. *Escaliers d'accès.* Lorsque des escaliers ou des plates-formes sont fixés sur l'enveloppe du réservoir, ils devraient être boulonnés à des goussets soudés à pénétration totale avant que le réservoir ne soit soumis à un traitement thermique en vue de la relaxation des contraintes. Les escaliers devraient avoir une largeur d'au moins 750 mm et être munis de mains courantes et de plinthes. Les échelles installées sur des réservoirs existants devraient être pourvues de crinolines et être suffisamment solides pour supporter une personne munie d'un appareil respiratoire. Les passerelles d'une certaine longueur devraient offrir autant que possible des moyens de fuite plus appropriés.

### Soudures des tubulures

Voir le paragraphe 43.

### Contrôles et épreuves du réservoir

168. Les contrôles du réservoir devraient comporter une épreuve de remplissage à l'eau et des essais conformes aux normes applicables.

169. Chaque réservoir devrait faire l'objet d'un examen approfondi pendant sa construction, conformément aux spécifications de fabrication. On devrait procéder en outre à une inspection visuelle complète de la surface extérieure du réservoir et au contrôle magnétoscopique d'au moins 10 pour cent de la longueur de chaque soudure en bout.

### Fondations

170. Les principes exposés aux paragraphes 51 et 52 devraient présider au calcul des fondations.

### Cuvette de rétention

171. Ainsi qu'on l'a fait remarquer au paragraphe 5, il n'y aura que peu ou pas de liquide au sol après la fissuration ou la rupture d'un réservoir fonctionnant à la température ambiante. Même s'il n'y avait qu'un tout petit trou, la fuite d'ammoniac prendrait la forme d'un aérosol de gaz et de liquide, sauf peut-être s'il s'agissait d'une fuite mineure due au manque d'étanchéité d'un presse-étoupe de robinet. Mais, dans ce cas, le parcours de fuite est généralement suffisamment long pour permettre au gaz et au liquide de se séparer en formant des traînées de gaz ammoniac et des gouttes d'ammoniac liquide.

172. Le service local des eaux peut exiger qu'une zone de rétention à drainage séparé soit aménagée; cette question intéresse cependant davantage le système de drainage que la cuvette de rétention elle-même.

173. Il est recommandé de revêtir le sol sous-jacent de béton lissé, avec une pente conduisant à une bouche d'évacuation. La zone de rétention devrait déborder d'un mètre au moins le périmètre du réservoir et de ses tuyauteries en saillie; elle devrait être délimitée par un merlon ou un mur.

174. La zone de stockage tout entière devrait être protégée contre les chocs dus aux véhicules.

## Matériel auxiliaire

175. Le lecteur est invité à se référer aux paragraphes 57 à 81 et à tenir compte du fait que le stockage à température ambiante n'exige aucune réfrigération.

## Isolation thermique

176. Il n'est généralement pas nécessaire d'isoler thermiquement les réservoirs de stockage à température ambiante. Si un revêtement isolant devait s'avérer nécessaire pour répondre à certaines exigences particulières, il faudrait se référer aux paragraphes 82 à 87.

## Sécurité de l'installation de stockage

177. Le lecteur est invité à se référer au paragraphe 88; toutefois, les points F et I de ce paragraphe ne s'appliquent pas au stockage à température ambiante.

178. Des appareils respiratoires filtrants à absorbant chimique suffisent pour une évacuation rapide. Des combinaisons isolantes légères conviennent pour le sauvetage et les interventions en cas de situation critique.

## Formation en matière de sécurité et consignes pour le personnel

Voir les paragraphes 89 à 97.

## Mise en service et mise hors service

179. Les principes généraux exposés aux paragraphes 98 à 117 sont valables. Les réservoirs cylindriques étant relativement petits, on les purge normalement en refoulant l'air par du gaz ammoniac. Cette pratique est acceptable du fait que le risque de fissuration par corrosion sous contrainte a été réduit au minimum grâce au choix d'aciers appropriés et à la relaxation des contraintes par traitement thermique.

180. Bien qu'il soit toujours conseillé de purger complètement le réservoir de l'oxygène qu'il contient, une concentration plus élevée d'oxygène peut être tolérée. Il est néanmoins indiqué de continuer la purge jusqu'à ce que la concentration d'ammoniac dans l'air évacué atteigne au moins 90 pour cent.

## Inspection et maintenance

### Généralités

181. Les recommandations formulées ci-après ne concernent que les réservoirs ayant subi une relaxation complète des contraintes. Quant aux réservoirs déjà en service utilisés pour le stockage d'ammoniac sous pression sans avoir subi ce traitement, ils devraient faire l'objet des inspections et des contrôles mentionnés aux paragraphes 118 à 142. Chaque réservoir devrait être examiné de manière approfondie par une personne compétente pendant sa construction, conformément aux normes générales de construction (paragraphe 161); il devrait subir une nouvelle inspection après une période de service n'excédant pas trois ans. Les inspections périodiques ultérieures devraient avoir lieu à des intervalles déterminés par l'organisme d'inspection compétent sur la base des résultats des inspections antérieures. L'intervalle précédant la deuxième inspection ne devrait en aucun cas dépasser six ans; les intervalles précédant les inspections ultérieures devraient être inférieurs à douze ans.

Les réservoirs visés par cette section du manuel sont soudés en atelier et y ont subi un traitement thermique de relaxation des contraintes; pour cette raison, l'intervalle séparant les inspections est plus important que celui fixé pour les réservoirs sphériques.

### Inspection intérieure

182. Un contrôle magnétoscopique devrait compléter l'examen visuel complet destiné à déceler tout indice évident de dégradation. La première inspection après la mise en service devrait comprendre le contrôle magnétoscopique intégral des soudures en bout.

183. Si un défaut significatif a été détecté à cette occasion, l'inspection suivante devrait avoir lieu dans les deux ans qui suivent; elle devrait comporter, elle aussi, un contrôle magnétoscopique intégral des soudures.

184. Si, par contre, aucun défaut significatif n'a été décelé, les inspections ultérieures devraient porter en tout cas sur l'ensemble des raccords en T et sur 10 pour cent de la longueur totale des soudures en bout choisies au hasard. Pour plus de détails sur les méthodes magnétoscopiques, on se référera aux paragraphes 124 à 126.

185. Il n'est pas nécessaire de procéder à une épreuve hydraulique d'après les présentes recommandations; une telle épreuve pourra néanmoins être exigée par la personne compétente. Elle ne devrait normalement être requise que si l'on a dû effectuer des reprises de soudures (paragr. 119).

186. Les soudures entre les tubulures et l'enveloppe devraient subir un contrôle magnétoscopique; si l'on constate des fissures, les modalités de contrôle exposées au paragraphe 127 seront applicables.

187. Lorsqu'on constate ou suspecte une corrosion, il est indiqué de procéder à des contrôles d'épaisseur par ultrasons.

### **Inspection extérieure**

188. Si l'inspection intérieure révèle un défaut important, on devrait procéder à un examen rapide de la surface extérieure. S'il s'agit d'un réservoir en service sans isolation thermique, l'examen devrait comprendre une inspection visuelle complète et un contrôle magnétoscopique sur 10 pour cent au moins de la longueur de chaque soudure en bout, et cela du côté opposé au défaut. Dans le cas d'un réservoir avec isolation thermique, un contrôle par ultrasons portant sur 10 pour cent au moins de la longueur de chaque soudure extérieure en bout peut être effectué de l'intérieur en lieu et place de l'examen extérieur, cela du côté opposé au défaut. Si l'on décèle des défauts significatifs, l'examen devrait être approfondi selon le jugement de la personne compétente.

189. Chaque fois qu'une inspection ultérieure aura révélé des défauts intérieurs significatifs, il serait indiqué de procéder à un contrôle magnétoscopique extérieur ou à un contrôle par ultrasons à partir de l'intérieur du réservoir pour vérifier l'intégrité de la surface extérieure au droit de chaque défaut intérieur.

190. L'enveloppe et les tubulures devraient être examinées pour vérifier si elles ne sont pas corrodées à l'extérieur. Une partie de leurs soudures devrait faire l'objet d'un contrôle magnétoscopique. Lorsque la corrosion est évidente, il faudrait procéder à des contrôles d'épaisseur par ultrasons.

191. La structure porteuse extérieure devrait être inspectée en portant une attention particulière aux endroits peu accessibles situés entre le réservoir et ses appuis, car ils peuvent receler une corrosion naissante.

192. La tuyauterie, notamment sa robinetterie et ses autres accessoires, devrait être inspectée pour vérifier qu'elle n'est pas corrodée et qu'elle est solidement fixée.

193. Tous les robinets montés sur la tuyauterie (robinets d'isolement, robinets manœuvrés à distance, etc.) devraient être démontés et révisés.

194. Les divers instruments indicateurs et les dispositifs d'alarme devraient être révisés et, en cas de besoin, réétalonnés.

195. Les limiteurs de pression devraient être révisés et soumis à des essais au moins tous les deux ans. S'il existe un système de verrouillage de l'isolement permettant d'examiner les limiteurs sans qu'il soit nécessaire d'interrompre l'exploitation, ce système devrait être vérifié de manière approfondie.

196. Les goujons et les boulons de fermeture ou de fixation sur le réservoir ainsi que les joints des brides devraient tous être remplacés. Les joints et les boulons des brides des tuyaux entre le réservoir et le premier robinet d'isolement devraient également être remplacés.

### **Rapport d'inspection approfondie**

Voir le paragraphe 140.

### **Plan d'intervention en cas de situation critique**

Voir les paragraphes 143 à 148.

### **Inspections de routine**

197. En plus des inspections périodiques approfondies, il convient de procéder aux vérifications techniques ci-après:

A. Il faudrait, au moins une fois par an, procéder à une évaluation de l'état général de l'installation. Une personne compétente devrait examiner avec soin l'extérieur du réservoir et de ses accessoires et rechercher les signes de corrosion localisée, notamment à la base des tubulures.

B. Les robinets, les dispositifs d'alarme et les systèmes de déclenchement automatique devraient

être vérifiés périodiquement, par exemple tous les mois, pour s'assurer de leur bon fonctionnement.

C. Le sol du site devrait être débarrassé des débris et des broussailles.

D. Les bouches d'incendie devraient être entretenues et révisées de manière régulière.

E. Une vérification devrait être entreprise périodiquement pour s'assurer que l'ensemble du matériel de sécurité est disponible sur place et que son entretien a été effectué conformément aux instructions des fabricants. Le personnel chargé de

la conduite des installations devrait s'assurer chaque jour que son équipement de protection individuelle (combinaisons isolantes, appareils respiratoires, lunettes de protection, gants, etc.) est à portée de la main et en bon état.

F. Les notices d'instruction, le numéro d'identification du réservoir et la liste des pièces qui composent sa robinetterie devraient être affichés bien en vue et en permanence.

G. L'éclairage du site devrait être vérifié de manière régulière et le matériel d'éclairage convenablement entretenu.

## Bibliographie

[Seules ont été conservées ici les références principales d'intérêt général.]

**Informations générales**

«Etude expérimentale des propriétés de l'ammoniac», *Informations chimie* (Paris), vol. 102, n° 6, oct. 1969.

*Flammability and explosibility of ammonia*, Institution of Chemical Engineers, Symposium Series, n° 49.

«The toxicity of ammonia», *Science* (Washington), 21 juillet 1951.

*Anhydrous ammonia*, Chemical safety data sheet SE-8, revised, Manufacturing Chemists' Association (Chemical Manufacturers' Association).

*Anhydrous ammonia*, Pamphlet G-2, Compressed Gas Association (New York).

*Anhydrous ammonia*, National Safety Council (Chicago, 1954).

*Safe handling of compressed gases*, Compressed Gas Association (New York).

**Publications de la Direction de la santé et de la sécurité au travail (Health and Safety Executive, Royaume-Uni)**

*Safety in pressure testing*, Health and Safety Executive Guidance Note GS14 (HMSO).

**Recueils de directives pratiques**

*Code of practice for the large scale storage of fully refrigerated anhydrous ammonia in the United Kingdom*, Chemical Industries Association, 1975.

CP 2004, 1972: *Foundations*. British Standard Code of Practice.

*Frost heaves and storage vessel foundation*. CEP Technical Manual, Safety in ammonia plants and related facilities, vol. 12.

BS 5970: *Code of practice for thermal insulation of pipework and equipment in the temperature range of -100°C to +870°C*.

*Recommended procedures for handling major emergencies*, 2<sup>e</sup> édition, 1976, Chemical Industries Association (Royaume-Uni).

**Normes britanniques (British Standards Institution, Royaume-Uni)**

BS 5500: *Unfired fusion welded pressure vessels*.

BS 4741, 1971: *Vertical cylindrical welded steel storage tanks for low temperature service. Single wall tanks for temperatures down to minus 50°C*.

BS 3351, 1971: *Piping systems for petroleum refineries and petro-chemical plants*.

BS 3799, 1974: *Steel pipe fittings, screwed and socket-welding for the petroleum industry*.

BS 6759, Part 3, 1984: *Specification for safety valves for process fluids*.

BS 6072: *Method for magnetic particle flow detection*.

BS 3274, 1960: *Tubular heat exchangers for general purposes*.

BS 4683, 1972: *Electrical apparatus for explosive atmospheres*, Part 3.

**Normes nationales américaines (American National Standards Institute, Etats-Unis)**

ANSI B.16.11, 1973: *Forged steel fittings, socket-welding and threaded*.

ANSI B.31.3, 1976: *Code for pressure piping. Chemical plant and petroleum refinery piping*.

**Références complémentaires pour l'édition française**

Ammoniac anhydre, fiche de données de sécurité (Paris, Rhône-Poulenc, 1986).

*Encyclopédie des gaz* (Paris, L'Air liquide, 1976).

*Cuves et réservoirs*, Caisse nationale de l'assurance maladie, recommandations R 119 et R 276 (Institut national de recherche et de sécurité).

*Matériel électrique utilisable dans les atmosphères explosives*. Réglementation (Paris, Imprimerie des journaux officiels), brochure n° 1228.

*Récipients sous pression pour ammoniac liquéfié*, recommandation de la Commission technique «Appareils à pression» du Colloque européen des organismes de contrôle, *APAVE*, revue technique (Paris), janv.-fév.-mars 1983.

*Ammoniac et solutions aqueuses*, fiche toxicologique n° 16-1988, 2<sup>e</sup> révision (Paris, Institut national de recherche et de sécurité, 1988).

*Installations frigorifiques fonctionnant à l'ammoniac ou avec des composés chlorofluorés*, Caisse nationale de l'assurance maladie, recommandation R 242, *Cahiers de notes documentaires. Sécurité et hygiène du travail* (Paris), 4<sup>e</sup> trimestre 1984, n° 117, note n° 1507-117-84.

*Transvasement de l'ammoniac liquide non réfrigéré*, Caisse nationale de l'assurance maladie, recommandation R 103, *Cahiers de notes documentaires. Sécurité et hygiène du travail* (Paris), 4<sup>e</sup> trimestre 1973, note n° 871-73-73.

*Réactions chimiques dangereuses: 41. Ammoniac*, *Cahiers de notes documentaires. Sécurité et hygiène du travail* (Paris), 3<sup>e</sup> trimestre 1976, n° 84, note n° 024-84-76.



---

## **Annexe 6**

# **Rapport de sécurité**

Rapport établi en vertu de la législation de l'Allemagne pour une usine chimique; reproduit avec l'autorisation de l'Office de l'environnement, secteur de l'information du public sur les questions d'environnement (Berlin)





## Table des matières

### 1. Description de l'installation et des procédés de fabrication

- 1.1 Installation
  - 1.1.1 Implantation
  - 1.1.2 Zones de protection
  - 1.1.3 Voies d'accès
- 1.2 Procédés de fabrication
- 1.3 Raison pour laquelle le rapport se limite au procédé n° 6 (synthèse opérée à partir d'acroléine)
- 1.4 Caractéristiques de construction
- 1.5 Procédé de synthèse
  - 1.5.1 Déchargement et stockage de l'acroléine
  - 1.5.2 Production
  - 1.5.3 Energie et fluides d'exploitation

### 2. Description des systèmes ayant une fonction de sécurité, des risques et des conditions dans lesquelles un incident peut se produire

- 2.1 Systèmes ayant une fonction de sécurité
  - 2.1.1 Déchargement de l'acroléine en face du bâtiment E 405
  - 2.1.2 Réservoirs de stockage de l'acroléine
  - 2.1.3 Séparateur d'eau B 71 et cuve R 72 pour le traitement des effluents liquides
  - 2.1.4 Pompe de dosage P 71 A/B
  - 2.1.5 Torchère A 750 pour le brûlage des effluents gazeux
  - 2.1.6 Tuyauterie et robinetterie
- 2.2 Risques d'incident

### 3. Identification chimique, état et quantité des substances selon l'annexe II de l'ordonnance de 1980

### 4. Description des mesures prises pour satisfaire aux conditions requises par les articles 3 à 6

- 4.1 Prévention des incidents
  - 4.1.1 Risques spéciaux liés à l'exploitation
    - 4.1.1.1/2 Déchargement et stockage de l'acroléine
    - 4.1.1.3 Séparateur d'eau B 71 et cuve R 72 pour le traitement des effluents liquides
    - 4.1.1.4 Pompes de dosage P 71 A/B
    - 4.1.1.5 Torchère A 750 pour le brûlage des effluents gazeux

- 4.1.1.6 Tuyauterie et robinetterie
- 4.1.2 Risques généraux d'exploitation
  - 4.1.2.1 Corrosion
  - 4.1.2.2 Utilisation de matériaux inappropriés
  - 4.1.2.3 Prélèvements d'échantillons
  - 4.1.2.4 Pannes d'alimentation en énergie et en fluides d'exploitation
  - 4.1.2.5 Pannes de machines
  - 4.1.2.6 Protection contre les incendies et les explosions
- 4.1.3 Risques provenant d'autres unités de production de l'usine Deka
- 4.1.4 Risques liés au voisinage
  - 4.1.4.1 Installations avoisinantes
  - 4.1.4.2 Circulation
  - 4.1.4.3 Risques liés à des phénomènes naturels
- 4.1.5 Actes de malveillance
- 4.2 Mesures destinées à limiter les conséquences des accidents
  - 4.2.1 Fondations et éléments porteurs
  - 4.2.2 Mesures de protection et systèmes de sécurité
  - 4.2.3 Plans d'alarme et d'intervention en cas d'incident
    - 4.2.3.1 Situations critiques prenant naissance dans l'usine Deka
    - 4.2.3.2 Situations critiques prenant naissance dans les installations avoisinantes
  - 4.2.4 Responsabilité
- 4.3 Mesures complémentaires
  - 4.3.1 Surveillance, maintenance et réparations
  - 4.3.2 Formation du personnel, instructions de service et de sécurité
  - 4.3.3 Documentation

### 5. Conséquences des accidents

#### Figures

- 6.1 Plan de l'usine et de ses environs
- 6.2 Plan de l'usine
- 6.3 Transformation d'aldéhydes par l'action de l'ammoniac
- 6.4 Transformation d'alcools par l'action de l'ammoniac
- 6.5 Déshydrogénation du butanediol-1,4 en gamma-butyrolactone
- 6.6 Hydrogénation de composés insaturés
- 6.7 Synthèse opérée à partir d'acroléine

- |      |  |      |  |
|------|--|------|--|
| 6.8  | Schéma de production de XXX à partir d'acroléine                                     | 6.13 | Déchargement et stockage de l'acroléine: schéma d'alimentation en azote          |
| 6.9  | Nomenclature des appareils utilisés dans le procédé n° 6 avec leurs caractéristiques | 6.14 | Schéma d'installation du séparateur B 71 et de la cuve à effluents liquides R 72 |
| 6.10 | Déchargement de l'acroléine en face du bâtiment E 405                                | 6.15 | Schéma d'installation des pompes de dosage P 71 A/B                              |
| 6.11 | Plan du parc des réservoirs de stockage G 404  | 6.16 | Schéma d'installation de la torchère A 750                                       |
| 6.12 | Plan de l'installation G 400   | 6.17 | Acroléine: caractéristiques et effets  |

# Rapport de sécurité

## Avant-propos

Voici un exemple de rapport d'analyse des conditions de sécurité, rapport qui doit être soumis par toutes les usines à hauts risques visées par la directive 82/501/CEE des Communautés européennes («directive de Seveso»). Ce rapport a été établi en 1982, en application de l'article 7 de l'ordonnance du 27 juin 1980 de la République fédérale d'Allemagne relative aux incidents, pour une installation, déjà en service, de synthèse à partir d'acroléine (usine Deka). Elaboré par la direction de l'entreprise, il est reproduit ici avec l'autorisation de l'Office de l'environnement, secteur de l'information du public sur les questions d'environnement (Berlin).

L'élaboration de rapports de cette complexité est sans doute plus facilement concevable dans les pays qui possèdent un système développé de prévention des risques d'accident majeur que dans ceux – auxquels le présent manuel s'adresse aussi – qui souhaitent aujourd'hui se doter d'un tel système. Il appartient aux pays qui n'ont pas encore de mécanisme de notification et de rapports de déterminer quels sont, dans un rapport comme celui qui est reproduit ci-après, les éléments qui répondent à leurs besoins et à leur pratique.

## 1. Description de l'installation et des procédés de fabrication (art. 7(1)1)

L'usine Deka fabrique des produits intermédiaires organiques. Les différents procédés qu'elle met en œuvre à cette fin sont totalement indépendants les uns des autres; ils ont d'ailleurs été introduits dans l'usine à des époques différentes.

L'usine constitue une seule installation aux termes de la législation antipollution.

### 1.1. Installation

L'usine Deka est située à l'intérieur d'un important complexe industriel. Elle comprend un parc de réservoirs de stockage (G 404) et un poste de déchargement d'acroléine près du bâtiment E 405 et de l'installation de production G 400, qui se trouve en plein air. Le bâtiment abritant les bureaux, les laboratoires et la salle de commande sont situés sur le côté sud de l'usine.

### 1.1.1. Implantation

L'usine Deka appartient à un complexe industriel situé sur un site de la société BASF (figure 6.1) à côté d'autres installations de production (XXX au nord et à l'est) et d'installations de stockage et de conditionnement (XXX à l'ouest). Les distances qui la séparent des autres installations sont les suivantes: ateliers mécaniques: 80 à 100 m; bassin G 306: 150 m; atelier d'apprentissage H 307: 200 m; cantine H 421: 200 m; limite de l'entreprise: 250 m.

L'usine est délimitée par des voies au sud et à l'est; ces voies sont orientées est-ouest et nord-sud, respectivement. Le bâtiment abritant les bureaux et la salle de commande est situé sur la voie est-ouest. La voie nord-sud est fermée au trafic de transit en raison du stationnement des wagons-citernes.

Le poste de déchargement des wagons-citernes d'acroléine se trouve à l'intérieur des périmètres clôturés des parcs de réservoirs de stockage F 405 et E 405 à l'ouest du bâtiment E 405.

### 1.1.2. Zones de protection

Conformément aux directives sur la protection contre les explosions (EX-RL) de la Caisse d'assurance contre les accidents du travail de l'industrie chimique (BG Chemie), l'installation G 400 est classée installation dangereuse, zone de type 1, pour des températures d'ignition  $> 135^{\circ}\text{C}$  (Ex T4). Selon les directives et règles techniques VbF/TRbF<sup>1</sup>, le parc des réservoirs de stockage G 404 est classé installation dangereuse, zones de types 1 et 2, pour des températures d'ignition  $> 135^{\circ}\text{C}$  (Ex T4) à l'intérieur de ses zones de protection suivant TRbF 110 (voir Ex-Notiz)<sup>2</sup>.

### 1.1.3. Voies d'accès

Les installations de l'usine Deka sont accessibles de plusieurs côtés par des voies carrossables (voies d'évacuation, de sauvetage, d'intervention en cas d'incendie). Les voies d'évacuation de l'installation G 400 satisfont aux conditions de la réglementation pour la prévention des accidents. Elles sont représentées dans la figure 6.12.

## 1.2. Procédés de fabrication

Plusieurs procédés sont mis en œuvre dans l'usine Deka (voir les diagrammes des figures 6.3 à 6.7):

1. Transformation d'aldéhydes en alkylamines correspondantes par l'action de l'ammoniac, par exemple:  
 $2 \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CHO} + \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2 \rightarrow (\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2)_2 \text{NH} + 2 \text{H}_2\text{O}$   
 Propionaldéhyde + ammoniac → di-n-propylamine + eau + hydrogène.
2. Transformation d'alcools en alkylamines correspondantes par l'action de l'ammoniac, par exemple  

$$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_3 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O} \\ | \qquad \qquad \qquad | \\ \text{OH} \qquad \qquad \qquad \text{NH}_2 \end{array}$$
 Alcool isopropylique + ammoniac → isopropylamine + eau.
3. Transformation d'aldéhydes en alkylamines correspondantes par l'action d'amines.
4. Déshydrogénation du butanediol-1,4 en gamma-butyrolactone:  
 $\text{HO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH} \rightarrow \text{CH}_2 - \text{CH}_2$   

$$\begin{array}{c} | \qquad | \\ \text{CH}_2 \quad \text{C} \\ \diagdown \quad / \\ \quad \quad \text{O} \end{array} + 2 \text{H}_2$$
 Butanediol -1,4 → gamma-butyrolactone + hydrogène.
5. Hydrogénation de composés insaturés, par exemple:  

$$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{C} - \text{CHO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CHO} \\ | \qquad \qquad \qquad | \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \qquad \text{CH}_3 \end{array}$$
 Pentanal de méthyle-2 + hydrogène → pentanal de méthyle-2.
6. Synthèse de XXX à partir d'acroléine et de la composante de réaction B:  
 substance B +  $\text{CH}_2 = \text{CH}_2 - \text{CHO} \rightarrow \text{XXX}$ .

**1.3. Raison pour laquelle le rapport se limite au procédé n° 6 (synthèse opérée à partir d'acroléine)**

Les unités dans lesquelles sont mis en œuvre les procédés 1 à 5 font bien partie de l'usine Deka; il s'agit toutefois d'unités autonomes, indépendantes, qui ne sont pas en contact les unes avec les autres du fait des produits qui les traversent. Seul le procédé 6 met en œuvre une substance qui figure dans la liste de l'annexe II de l'ordonnance de 1980 sur les incidents: il s'agit de l'acroléine (voir le diagramme de la figure 6.8).

Dans l'analyse des risques, ceux que les unités 1 à 5 pourraient présenter pour l'unité 6 font l'objet d'un examen séparé (voir 4.1.3).

**1.4. Caractéristiques de construction**

Les appareils, la tuyauterie et la robinetterie de l'installation d'acroléine qui renferment des produits chimiques sont en acier inoxydable et exécutés conformément aux règles fixées dans un code ad hoc<sup>3</sup>. Les caractéristiques des appareils sont résumées dans la nomenclature de la figure 6.9 et

précisées dans les notes techniques correspondantes<sup>4</sup>.

Les plans de construction et les plans de masse renseignent sur les caractéristiques des ouvrages G 400 et G 404; la figure 6.12 représente une partie de l'un de ces plans. La stabilité des ouvrages a été vérifiée dans le cadre de la procédure d'autorisation.

**1.5. Procédé de synthèse**

La description complète du procédé de synthèse (transformation de l'acroléine en XXX à l'aide de la substance B) est contenue dans la demande d'autorisation présentée en date du 15 juin 1979 conformément à la législation fédérale antipollution.

**1.5.1. Déchargement et stockage de l'acroléine (figures 6.8 à 6.11)**

L'acroléine est livrée en wagons-citernes et déchargée en face du bâtiment E 405. Elle est refoulée des wagons-citernes dans les réservoirs B 19, B 22 et B 23 du parc G 404 à l'aide d'azote, sous une pression effective d'environ 1 bar.

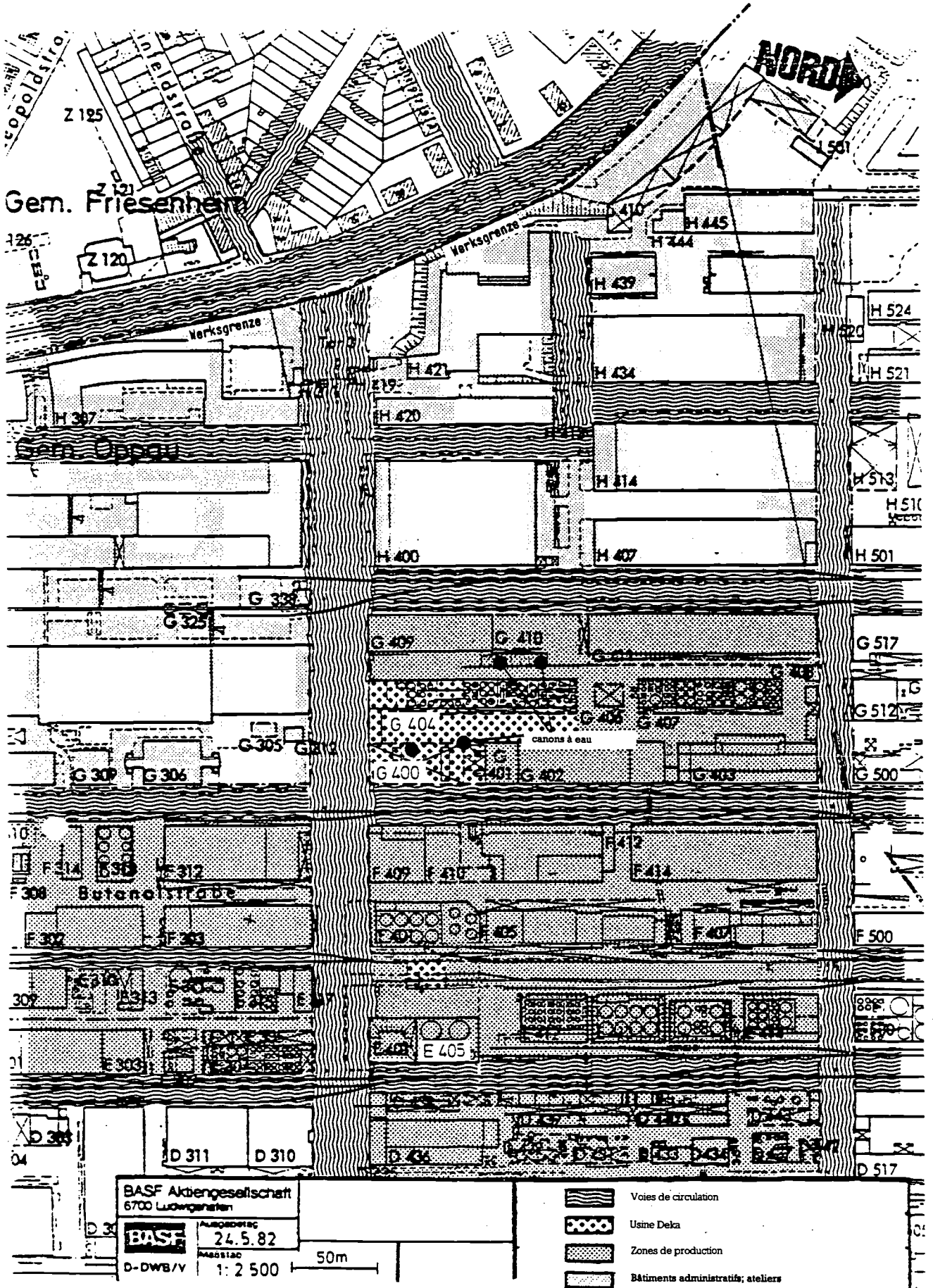
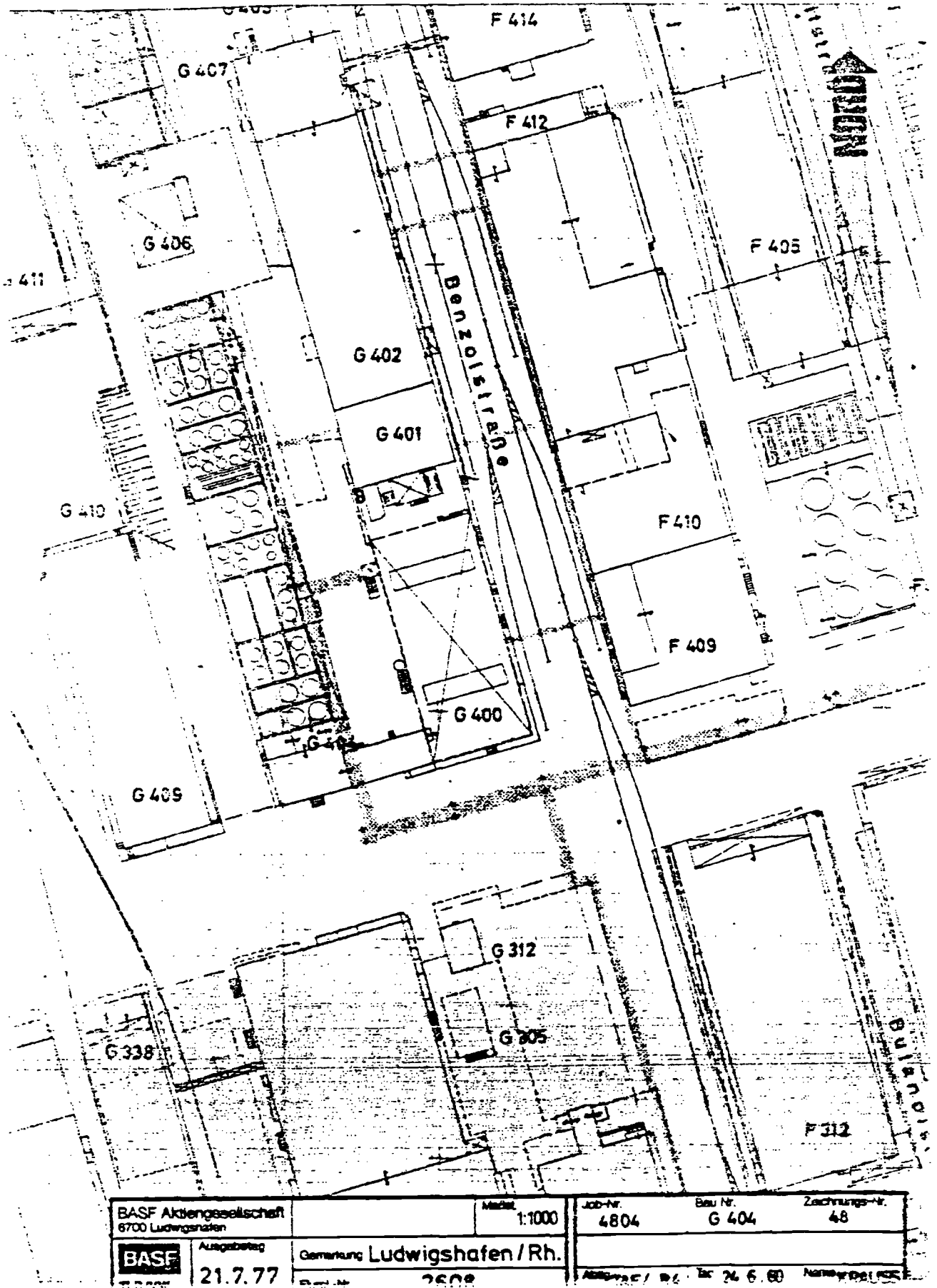


Figure 6.1. Plan de l'usine et de ses environs



BASF Aktiengesellschaft 6700 Ludwigshafen		Maßstab 1:1000	Job-Nr. 4804	Bau-Nr. G 404	Zeichnungs-Nr. 48
<b>BASF</b>	Ausgabetermin 21.7.77	Gemarkung Ludwigshafen/Rh.			
		Blatt-Nr. 2508	Abgabedatum 26.6.80		Namensgruppe K2

Figure 6.2. Plan de l'usine

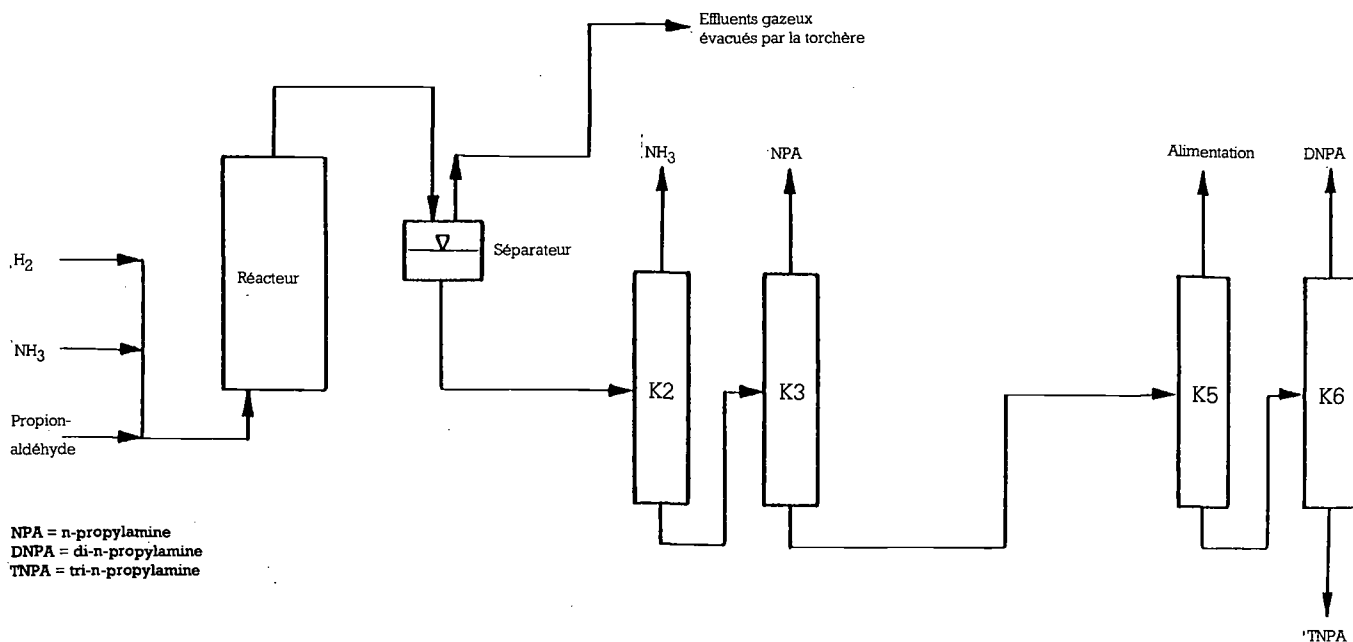


Figure 6.3. Transformation d'aldéhydes par l'action de l'ammoniac

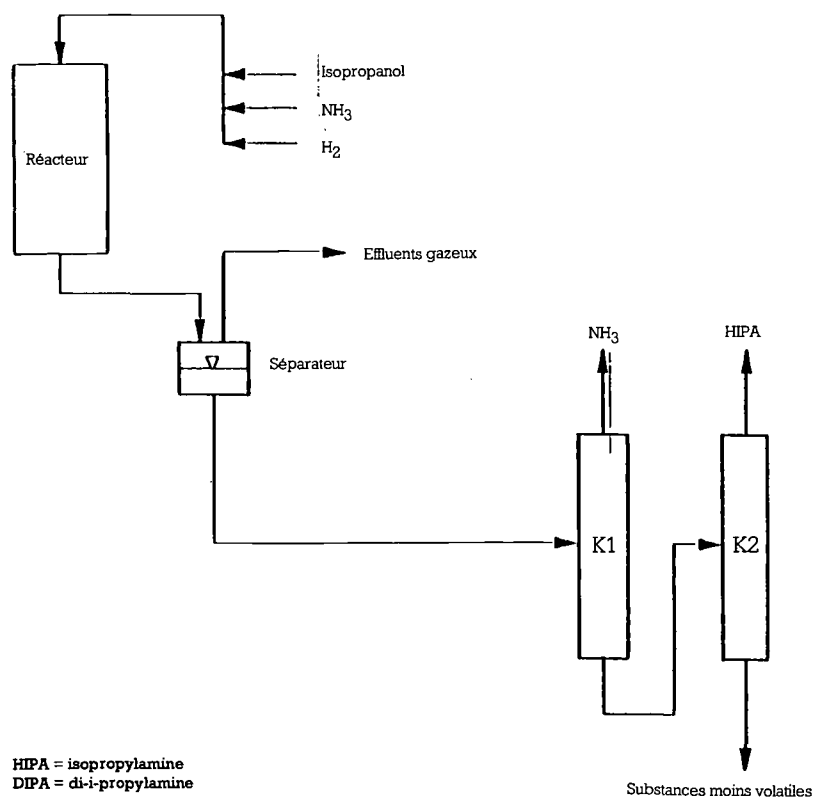


Figure 6.4. Transformation d'alcools par l'action de l'ammoniac

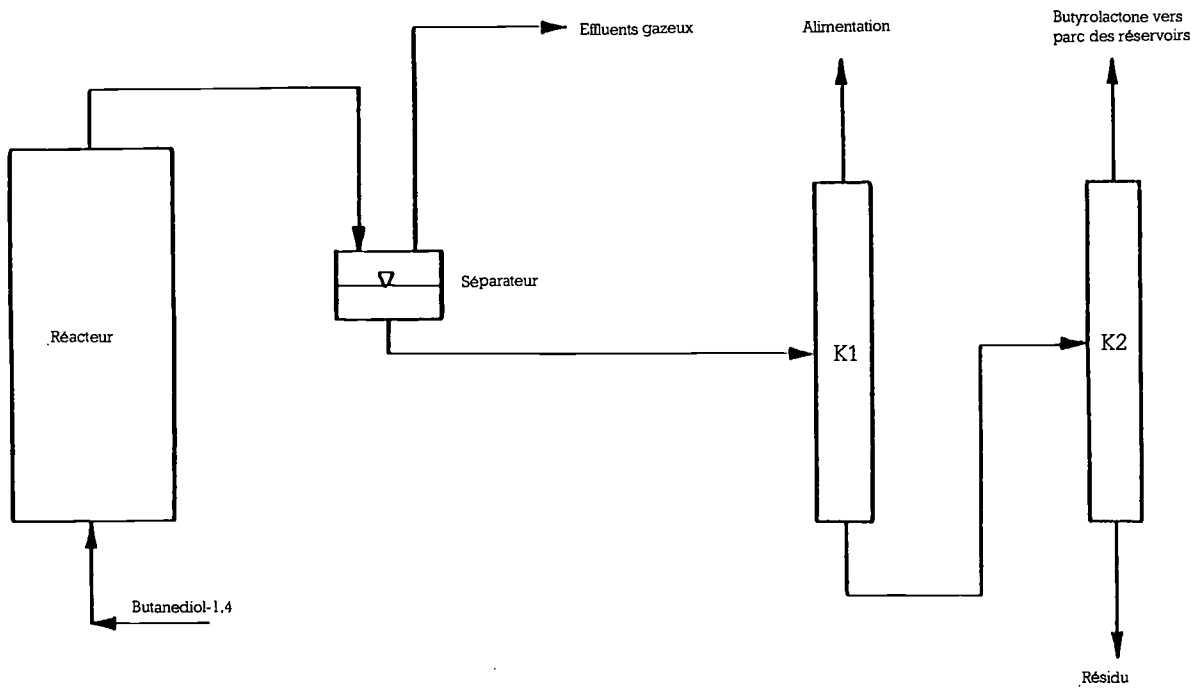


Figure 6.5. Déshydrogénation du butanediol-1,4 en gamma-butyrolactone

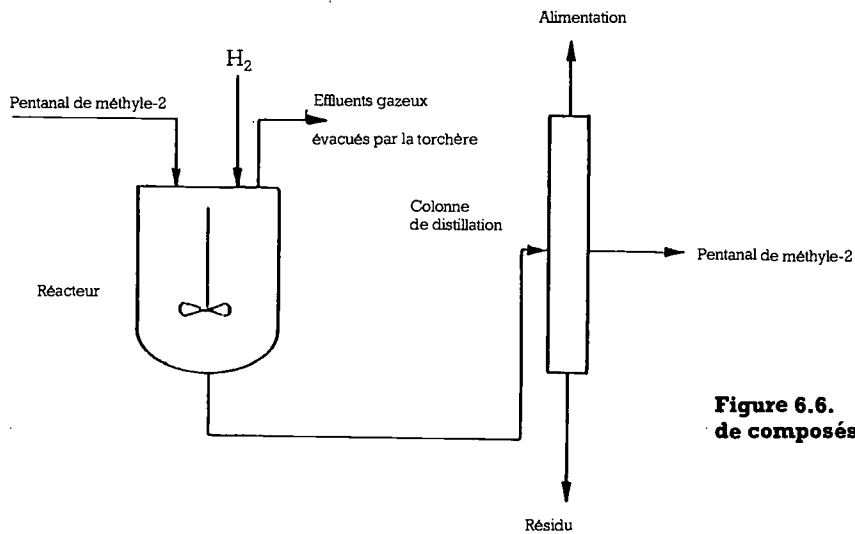


Figure 6.6. Hydrogénation de composés insaturés

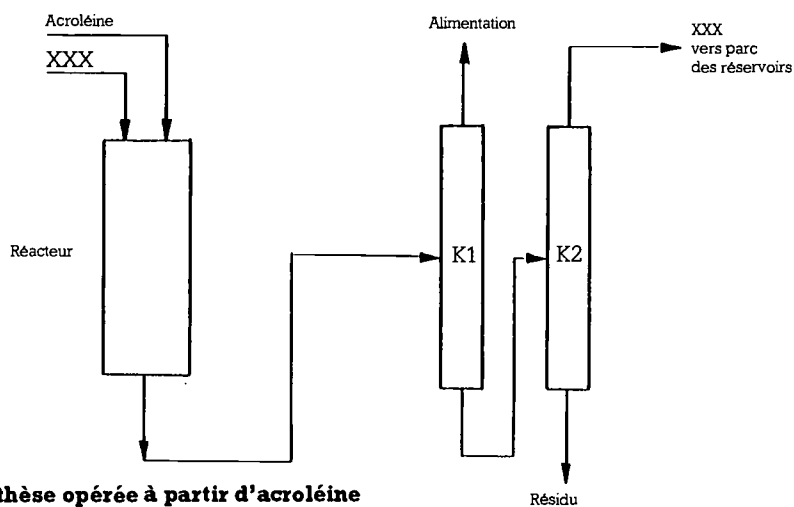
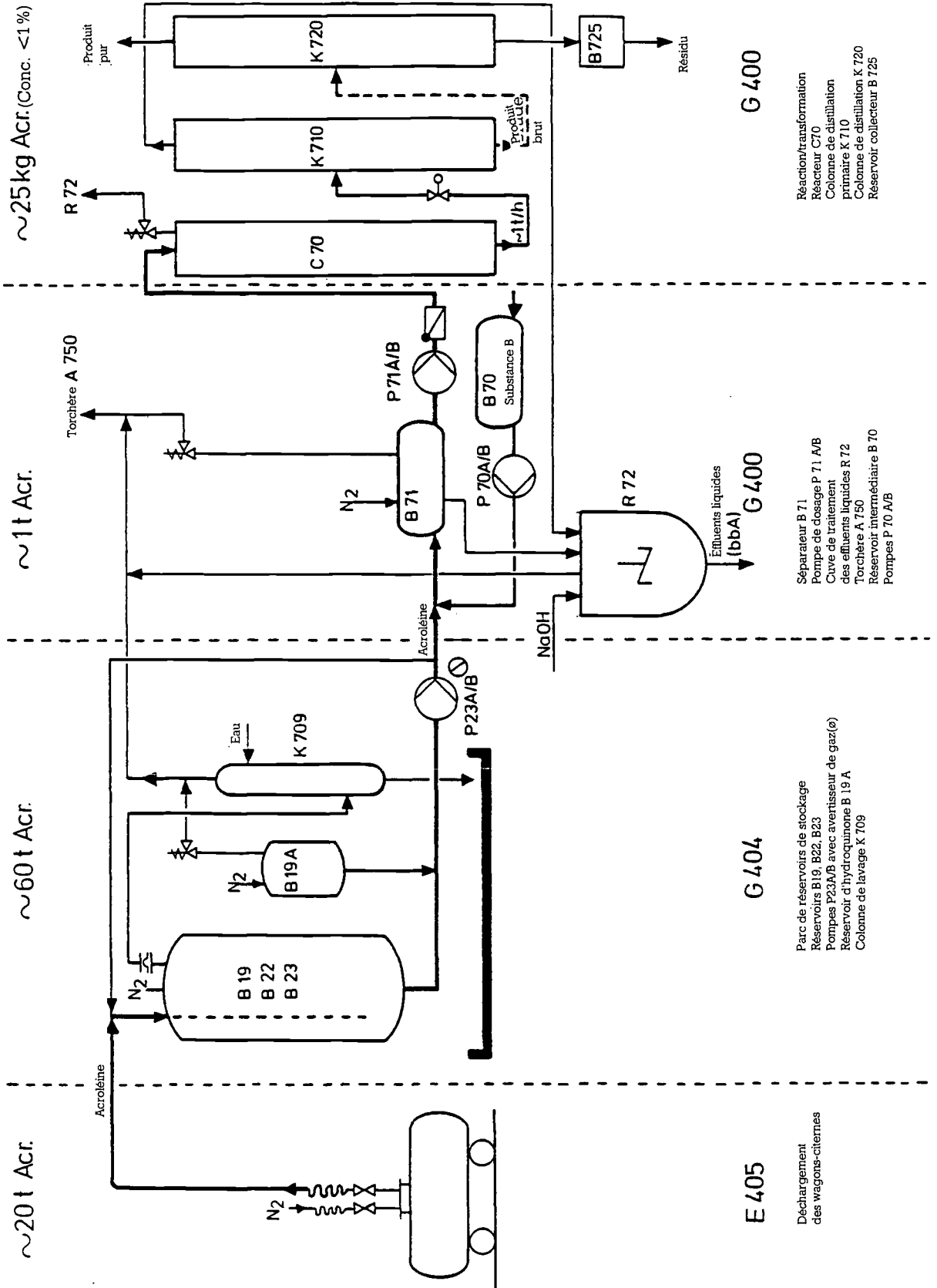


Figure 6.7. Synthèse opérée à partir d'acroléine



Figure 6.8. Schéma de production de XXX à partir d'acroléine



Des mesures de sécurité spéciales sont prises pour le stockage de l'acroléine dans les réservoirs B 19, B 22 et B 23 (figure 6.13); en effet, cette substance a une tendance à la polymérisation exothermique aux températures élevées et en présence de substances provoquant une réaction alcaline.

1. Chaque réservoir est dégazé à l'azote pur en vue d'empêcher tout contact entre l'acroléine et des substances ayant une réaction alcaline.

2. Chaque réservoir peut être refroidi par un ruissellement d'eau.

3. L'acroléine circule de manière continue à l'aide de pompes. Dès que la température dépasse 30°C dans l'un quelconque des réservoirs, du méthanol contenant 5 pour cent environ d'hydroquinone est injecté automatiquement dans le circuit d'acroléine à partir du réservoir B 19A (figure

6.8) à l'aide d'azote sous une pression effective de 2 bar.

4. La température et le niveau des différents réservoirs sont mesurés et enregistrés. Les valeurs mesurées sont transmises à un système d'alarme visuelle et sonore.

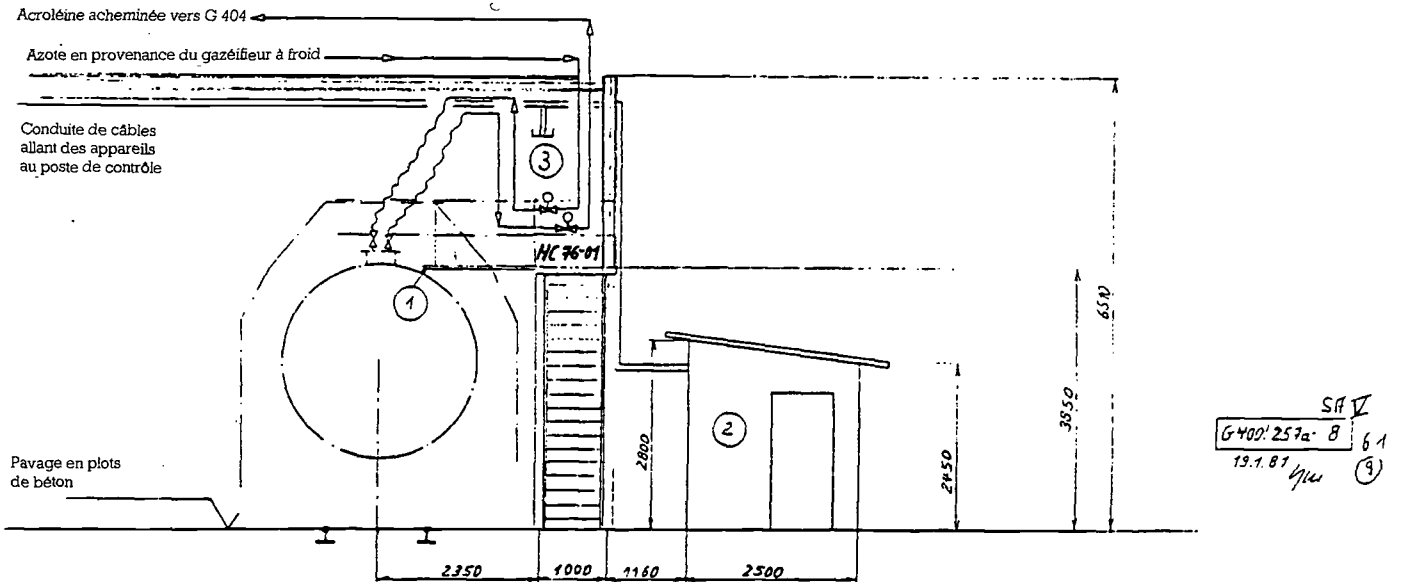
5. Chaque réservoir est équipé de deux disques de rupture montés en série dans une tubulure. Ces disques sont étalonnés pour une surpression de 1,1 et 1,9 bar, respectivement. Si la pression augmente dans un réservoir, par exemple du fait d'une polymérisation de l'acroléine, l'éclatement du premier disque déclenche automatiquement le dispositif de ruissellement de la colonne de lavage K 709 qui est remplie d'anneaux Raschig. Si le deuxième disque cède, les vapeurs d'acroléine qui prennent naissance dans le réservoir sont conduites dans cette colonne de lavage où elles sont

**Figure 6.9. Nomenclature des appareils utilisés dans le procédé n° 6 avec leurs caractéristiques (voir figure 6.8)**

Appareils			Caractéristiques		
Abréviation	Nombre	Désignation	Dimensions	Température (°C)	Pression effective p <sub>e</sub> (bar)
B 19	1	Réservoir de stockage d'acroléine	35 m <sup>3</sup>	50	3
B 22	1	Réservoir de stockage d'acroléine	30 m <sup>3</sup>	50	4
B 23	1	Réservoir de stockage d'acroléine	28 m <sup>3</sup>	50	2
P 23	2	Pompe centrifuge	3 m <sup>3</sup> /h	120	10
B 19A	1	Réservoir intermédiaire d'hydroquinone	1 m <sup>3</sup>	50	6
K 709	1	Colonne de lavage	0,4 x 5 m	50	0
B 18	1	Réservoir de stockage pour XXX (brut)	33 m <sup>3</sup>	50	0
B 33	1	Réservoir de stockage pour XXX (pur)	90 m <sup>3</sup>	50	0
B 57	1	Réservoir de stockage pour XXX (pur)	50 m <sup>3</sup>	50	0
B 70	1	Réservoir intermédiaire	2 m <sup>3</sup>	200	2
P 70	2	Pompe	1 m <sup>3</sup> /h	200	10
B 71	1	Séparateur	2,5 m <sup>3</sup> /h	200	6
P 71	1	Pompe de dosage	2 m <sup>3</sup> /h	200	130
R 72	1	Cuve avec agitateur	4 m <sup>3</sup>	200	6
C 70	1	Réacteur	1 m <sup>3</sup>	300	80
K 710	1	Colonne de distillation primaire	0,6 x 10 m	200	2
K 720	1	Colonne de distillation	0,8 x 24 m	200	0
B 725	1	Réservoir collecteur	6 m <sup>3</sup>	200	2

Déchargement de l'acroléine en face du bâtiment E 405 (élévation)

- ① Escalier escamotable de 4 marches avec étrier de sécurité
- ② Poste de contrôle
- ③ Bras de suspension pour les flexibles d'acroléine et d'azote



Déchargement de l'acroléine en face du bâtiment E 405 (vue en plan)

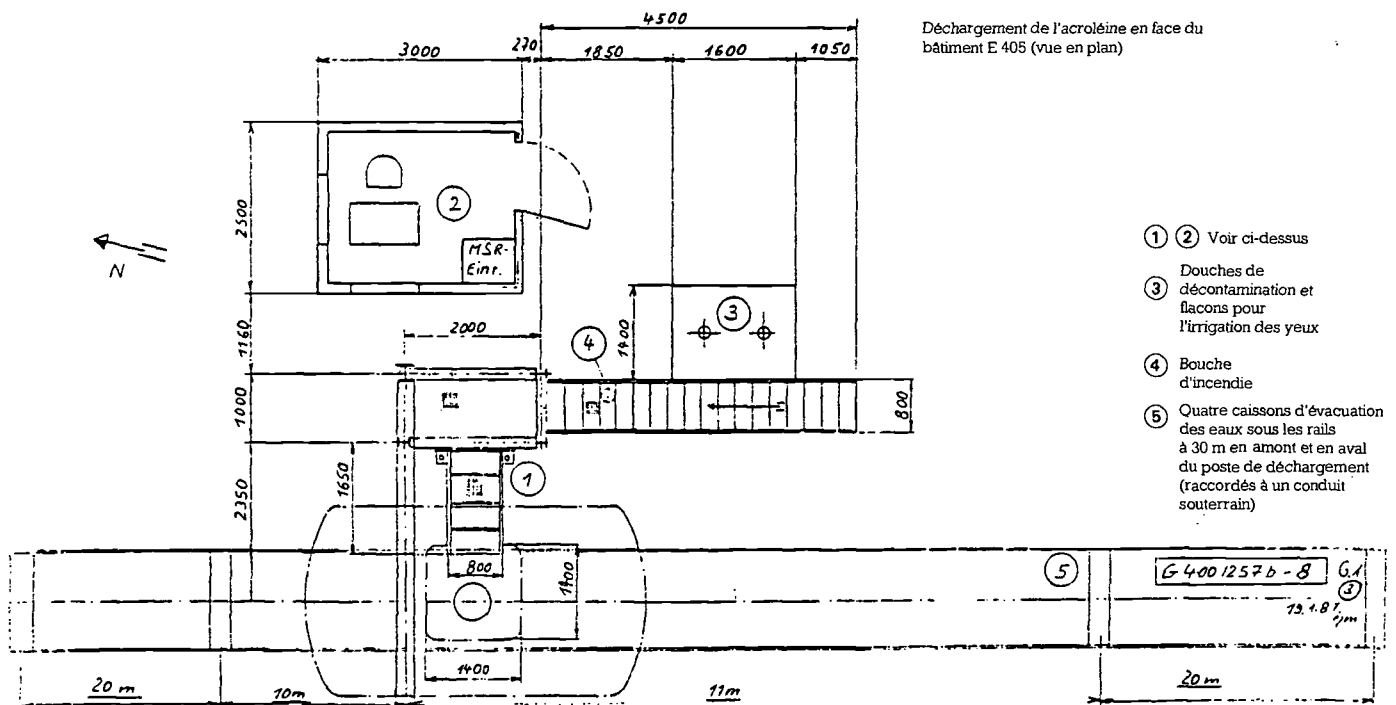
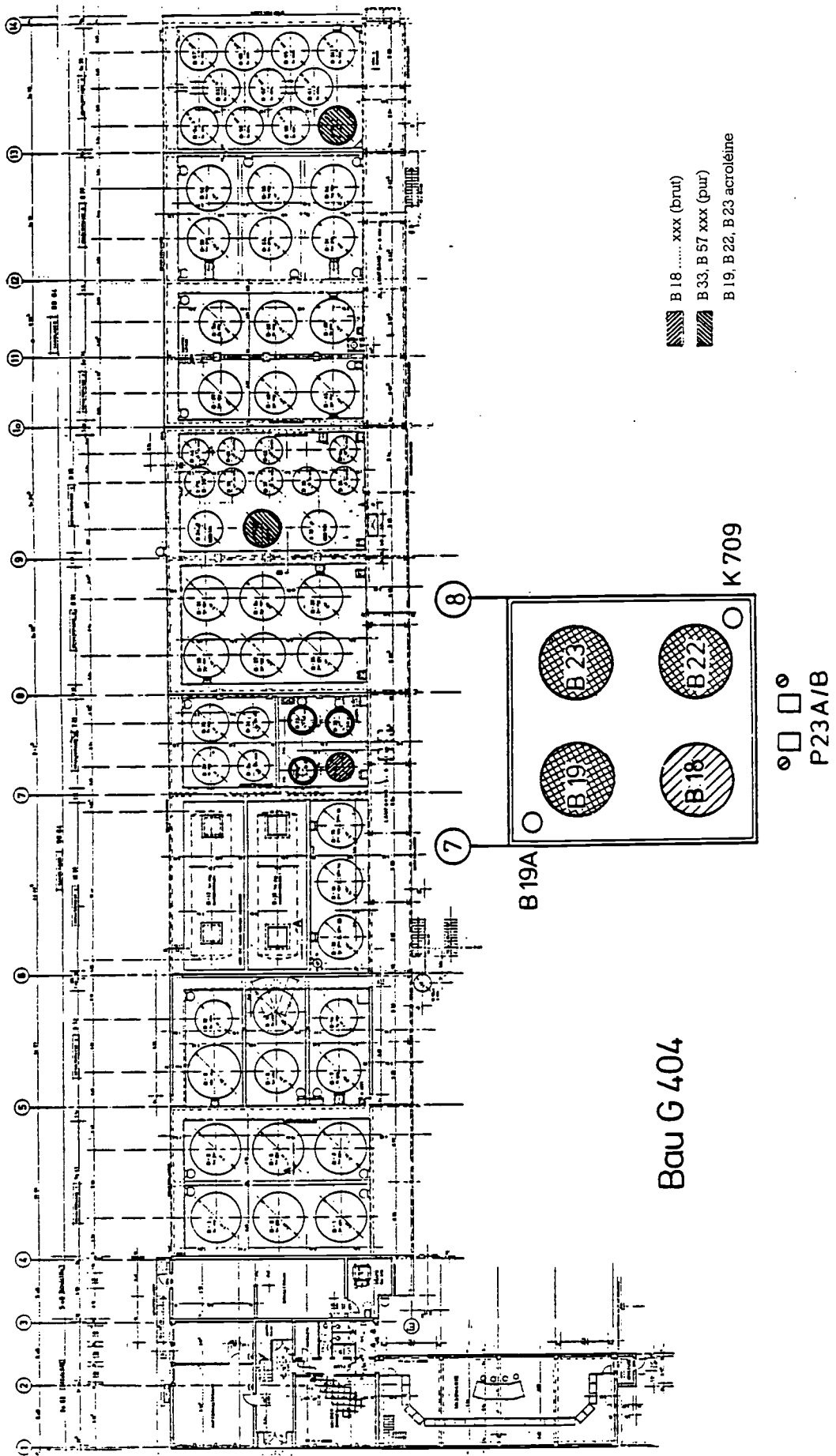


Figure 6.10. Déchargement de l'acroléine en face du bâtiment E 405

Figure 6.11. Plan du parc des réservoirs de stockage C 404





précipitées. La colonne de lavage et tous les autres appareils de l'installation susceptibles de donner naissance à un dégagement de vapeurs d'acroléine sont reliés à un collecteur conduisant à la torchère A 750.

### 1.5.2. Production (figures 6.8, 6.9 et 6.12)

La substance de réaction B est amenée par une tuyauterie à la cuve de mélange B 71 en passant par le réservoir intermédiaire B 70 et la pompe P 70. L'acroléine arrive du parc des réservoirs de stockage, également par une tuyauterie. Dans le séparateur B 71 (pression effective d'environ 4 bar, température ambiante), une petite partie de l'eau contenue dans l'acroléine est extraite pour être acheminée vers la cuve R 72.

Les charges prémélangées sont refoulées par la pompe de dosage P 71 dans le réacteur C 70 qui fonctionne à des températures comprises entre 100 et 200°C et sous des pressions allant de 20 à 70 bar.

L'acroléine réagit dans le réacteur C 70 sur la substance B pour former le produit XXX. Celui-ci traverse un clapet régulateur et aboutit à la colonne de distillation primaire K 710 où les substances hautement volatiles (notamment les produits de départ non transformés) sont séparées par distillation et acheminées vers la cuve R 72.

L'eau de la cuve R 72 contient 1 pour cent environ d'acroléine. Celle-ci est décomposée par une réaction exothermique entretenue par l'adjonction continue de soude caustique pour former des produits de poids moléculaire plus élevé. L'eau rejetée dans le réseau de traitement des eaux usées est exempte d'acroléine; elle contient des matières organiques qui peuvent être décomposées biologiquement et qui ne renferment ni métaux ni halogènes.

Le produit XXX, débarrassé de la plupart de ses fractions hautement volatiles par son passage dans la colonne K 710, est refoulé dans le réservoir B 18 du parc de stockage G 404 pour y être stocké temporairement. Il est ensuite transféré à la colonne K 720 où il subit une nouvelle épuration.

Le produit XXX est distillé en tête de la colonne K 720, puis collecté sous forme de XXX pur dans les réservoirs B 33 et B 5 7 du parc G 404. Le liquide de

fond de la colonne K 720 est recueilli dans le réservoir B 725 et acheminé vers l'installation d'incinération des résidus. Ce liquide de fond est exempt de métaux et d'halogènes et peut donc être incinéré sans problème.

L'unité de synthèse de l'installation est conduite et surveillée à partir de la salle principale de commande de l'usine. Les autres unités de transformation sont commandées sur place.

Tous les effluents gazeux sortant des réservoirs d'acroléine B 19, B 22 et B 23 et de l'unité de production sont brûlés dans la torchère A 750 (figures 6.8 et 6.16)

### 1.5.3. Energie et fluides d'exploitation

L'usine Deka est raccordée aux réseaux de la BASF, qui l'alimentent en électricité, en eau de refroidissement, en vapeur, en azote, en air comprimé et en gaz naturel. Des sources d'énergie de secours ne sont pas requises (voir 4.1.2.4 et 4.1.2.5).

Afin d'obtenir de l'azote suffisamment pur, un système séparé a été installé pour alimenter en azote les installations contenant de l'acroléine (voir la figure 6.13). Ce système est composé d'un évaporateur d'azote à froid et d'une source de secours constituée d'une batterie de bouteilles d'azote.

L'éclairage de secours de la salle de commande et des voies d'évacuation est assuré par des lampes équipées de batteries individuelles.

## 2. Description des systèmes ayant une fonction de sécurité, des risques et des conditions dans lesquelles un incident peut se produire (art. 7(1)2)

### 2.1. Systèmes ayant une fonction de sécurité

Ces systèmes sont identifiés après une analyse approfondie des schémas de circulation de l'ensemble de l'installation. On commence par diviser l'installation en unités techniques. Certaines d'entre elles peuvent fonctionner de manière indépendante, tandis que d'autres revêtent une grande importance pour l'ensemble de l'installation

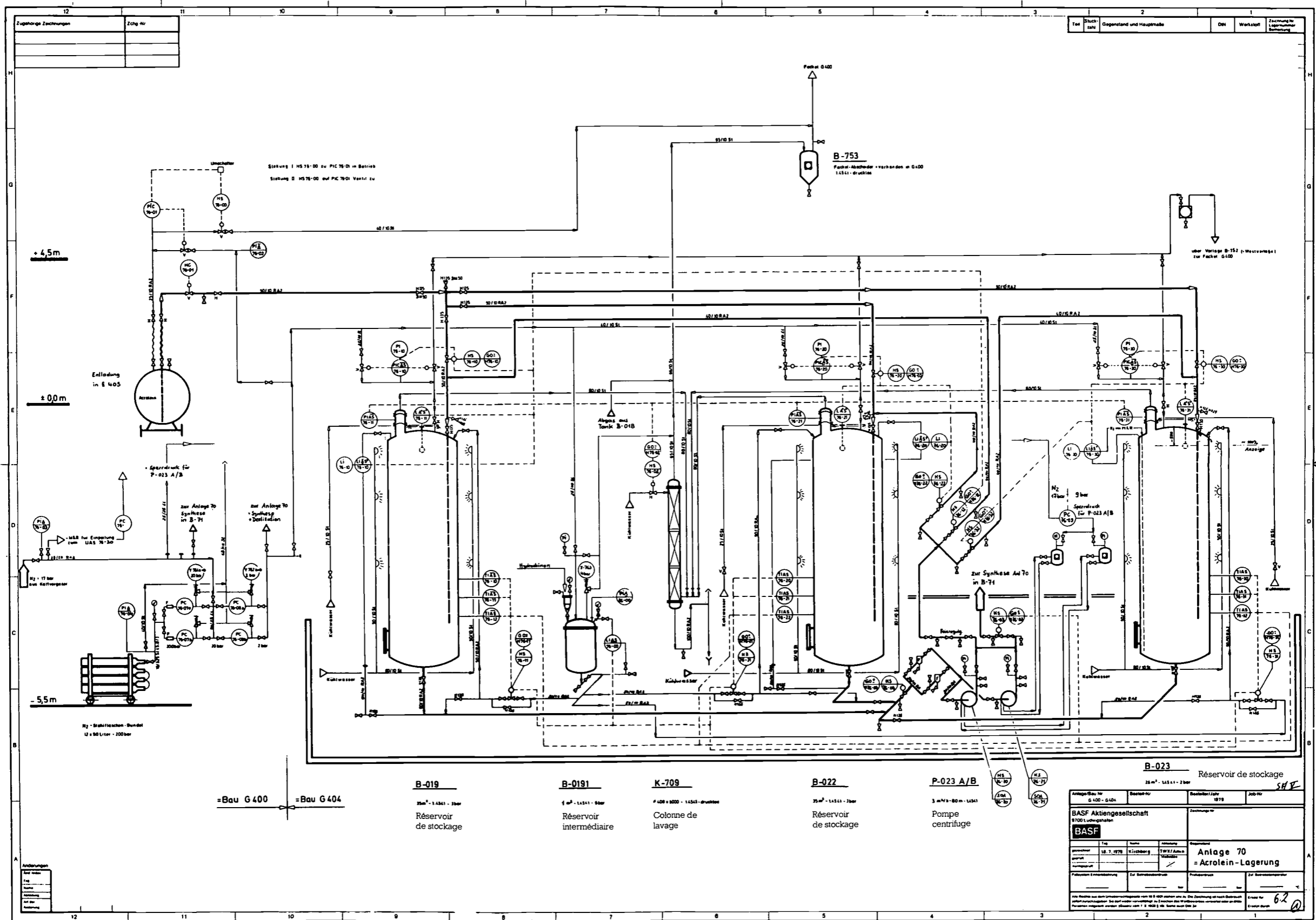


Figure 6.13. Déchargement et stockage de l'acroléine: schéma d'alimentation en azote





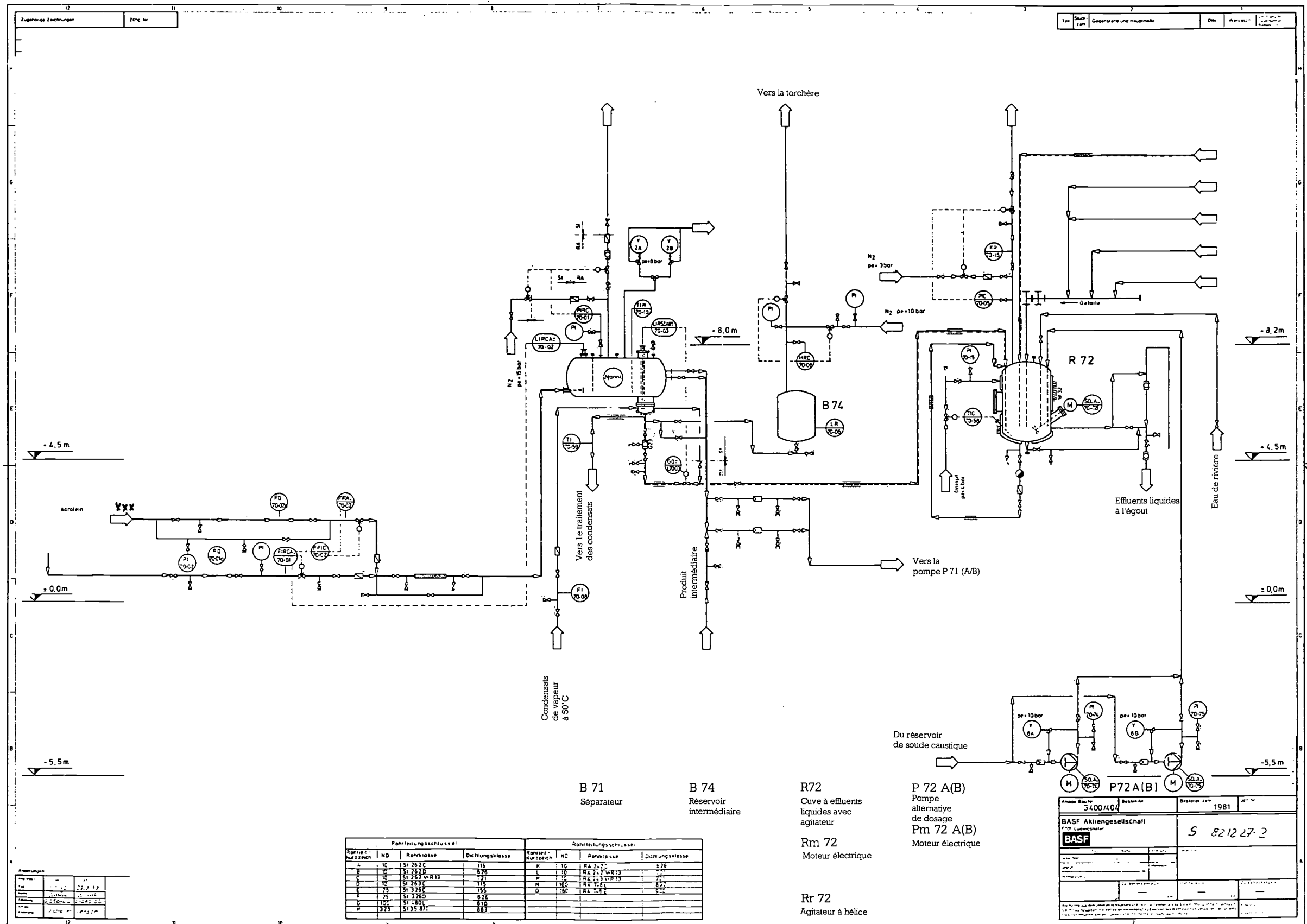


Figure 6.14. Schéma d'installation du séparateur B 71 et de la cuve à effluents liquides R 72



globale ou sont des systèmes auxiliaires indispensables au bon fonctionnement de l'installation (systèmes de refroidissement, systèmes d'évacuation des effluents gazeux, etc.).

Un système est défini comme «ayant une fonction de sécurité» lorsque:

- des substances figurant dans la liste de l'annexe II de l'ordonnance de 1980 sont présentes ou peuvent se former en quantités significatives pour la sécurité;
- le système est indispensable à la sécurité de fonctionnement de l'installation parce qu'il prévient des incidents ou en limite les conséquences (systèmes de protection ou autres systèmes assurant la sécurité de fonctionnement).

Les systèmes suivants ont été identifiés sur la base des critères qui précèdent (figures 6.8, 6.10 à 6.12 et schémas des figures 6.13 à 6.16).

### 2.1.1. Déchargement de l'acroléine en face du bâtiment E 405 (figures 6.10 et 6.13)

Wagons-citernes contenant 20 t d'acroléine, à citerne de type normal avec tube montant et sans vidange de fond, équipés – conformément à l'ordonnance sur le transport ferroviaire des substances dangereuses – d'un raccord à flexible, de robinets manuels et d'une tuyauterie aboutissant au parc de réservoirs G 404.

Déchargement et transfert de l'acroléine à l'aide d'azote épuré, à une pression effective de 1 bar réglée par l'appareil PIC 76-01 (l'azote épuré provient d'un épurateur ou d'une batterie de bouteilles). Surpression maximale admise au poste réducteur PC 76-08 a/b: 2 bar, contrôlée par le limiteur de pression Y 762 a/b. Pour le reste, l'opération de déchargement s'effectue conformément aux instructions de service et aux consignes de sécurité.

### 2.1.2. Réservoirs de stockage de l'acroléine, 3 x 20 t, parc G 404 (figure 6.13)

Réservoirs de stockage B 19, B 22 et B 23, équipés de dispositifs de sécurité (niveau, pression et température) avec les circuits suivants: LIAS 76-10, 20 et 30; LAS 76-11, 21 et 31; PICAS 76-10, 20 et 30; PIAS 76-11, 21 et 31; TIAS 76-10, 11

et 12; 20, 21 et 22; 30, 31 et 32 (dans chaque cas deux sur trois).

Pompes centrifuges P 23 A/B pour le transfert et la circulation de l'acroléine (voir 1.5.1(3)), avec garnitures mécaniques doubles à grain mobile et liquide obturant (méthanol) sous surpression d'azote de 9 bar.

Matériel de protection et de sécurité:

- réservoir d'hydroquinone B 19A (voir 1.5.1(3)), pressurisé par de l'azote à 2 bar et protégé par le limiteur de pression Y 763 réglé à 4 bar, avec dispositifs d'alarme et de déclenchement assurés par PIA 76-00 et LIAS 76-00;
- colonne de lavage K 709 (voir 1.5.1(5)): les effluents liquides sont recueillis dans le bac collecteur;
- système d'arrosage à l'eau des réservoirs de stockage (voir 1.5.1(2));
- bac collecteur (bac de rétention), dimensionné conformément à la directive TRbF 110 et capable d'absorber le contenu du réservoir le plus grand; le liquide collecté ne peut être déversé par pompage dans les effluents liquides à traiter que si la pompe est mise en marche à cette fin;
- dispositif avertisseur de gaz aux pompes P23 A/B avec télécapteur de gaz Sieger sur chaque pompe (seuil d'alerte de l'ordre de quelques ppm).

D'autres mesures de contrôle de sécurité sont spécifiées dans les instructions de service et de sécurité.

### 2.1.3. Séparateur d'eau B 71 et cuve R 72 pour le traitement des effluents liquides (figure 6.14; description sous 1.5.2)

Le séparateur B 71 fonctionne sous une surpression d'azote de 4 bar (PIRC 70-01) et est protégé par deux limiteurs de pression réglés à 6 bar. Les effluents gazeux du régulateur et des limiteurs de pression sont acheminés vers la torchère A 750 après avoir traversé un séparateur de liquides.

La cuve R 72 n'est pas sous pression. Pour le reste, on suit les instructions de service et de sécurité.

**2.1.4. Pompe de dosage P 71 A/B assurant le refoulement du produit par surpression vers le réacteur C 70 (figure 6.15; voir aussi 1.5.2)**

Clapets antiretour dans la tuyauterie alimentant le réacteur C 70. Limiteurs de pression faisant office de soupapes de détente (Y 3 A/B) et réglés à 80 bar (pression effective).

**2.1.5. Torchère A 750 pour le brûlage des effluents gazeux (figure 6.16)**

Système collecteur des effluents gazeux et dispositif de sécurité TIA 75-00. Pour le reste, le fonctionnement de la torchère est réglé par les instructions de service et de sécurité et le système fait l'objet d'un contrôle suivi.

**2.1.6. Tuyauterie et robinetterie**

Les matériaux et l'exécution de la tuyauterie, des joints d'étanchéité et de la robinetterie sont conformes au code mentionné sous 1.4.3.

La canalisation partant du poste de déchargement de l'acroléine (en face de E 405) et qui conduit à G 404 est soudée et isolée thermiquement sur toute sa longueur. L'étanchéité des brides est assurée par des joints spéciaux type Spiroflex. Tous les tuyaux véhiculant de l'acroléine sont conçus pour une pression nominale minimale de 10 bar.

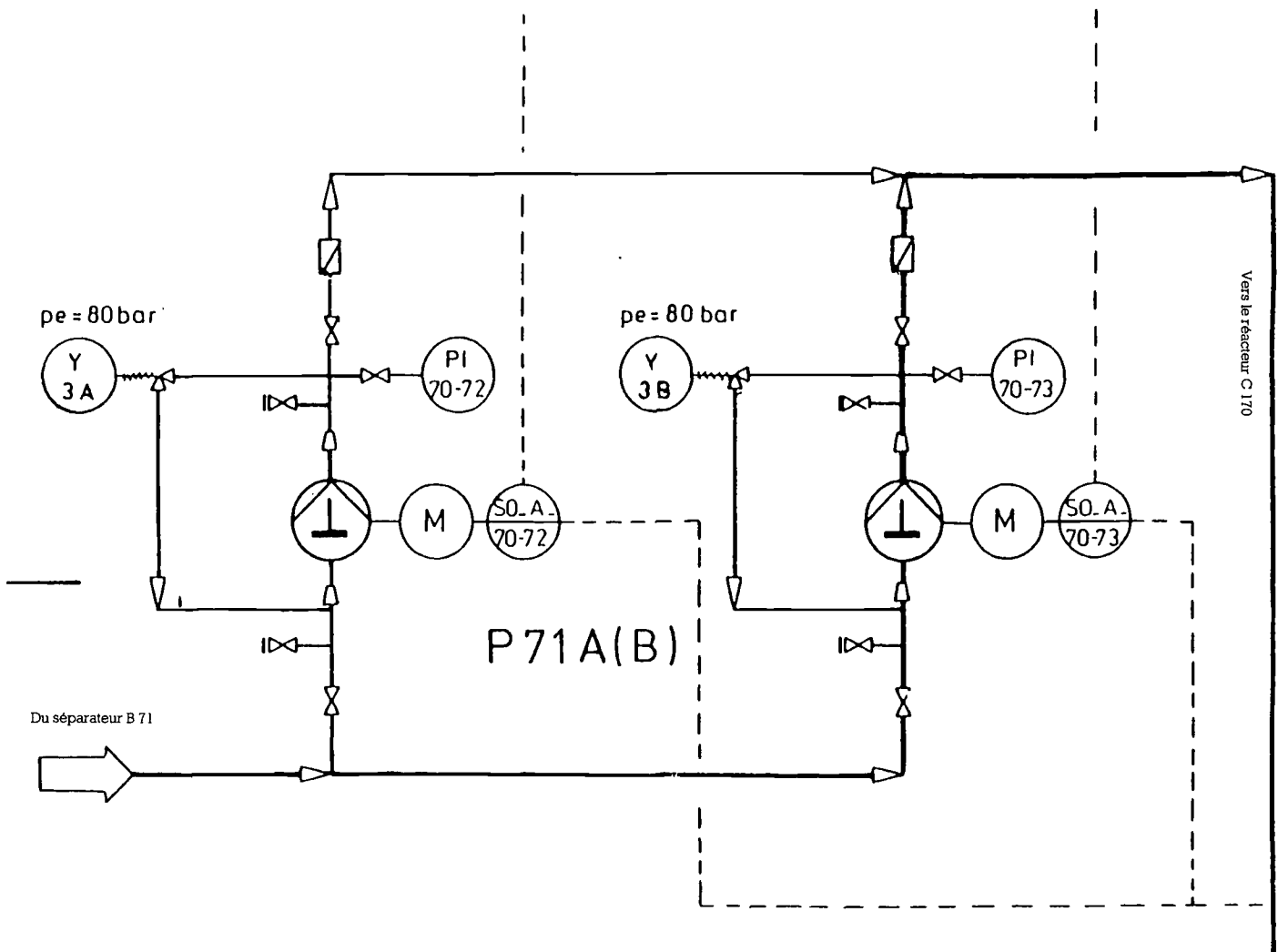


Figure 6.15. Schéma d'installation des pompes de dosage P 71 A/B

Le réacteur C 70 et les colonnes de distillation qui se trouvent en aval (figure 6.8) ne présentent pas d'intérêt particulier au point de vue de la sécurité.

Ce réacteur et ces deux colonnes ne contiennent au total jamais plus de 25 kg d'acroléine à une concentration inférieure à 1 pour cent en volume, contrôlée par analyses. La réaction qui a lieu dans C 70 est exothermique. Le contenu du réacteur présente un mélange pratiquement idéal: la concentration d'acroléine y est la même partout. La réaction est conduite de telle sorte qu'elle se déroule très rapidement, raison pour laquelle la concentration d'acroléine demeure inférieure à 1 pour cent en volume. Bien que la réaction en C 70 soit exothermique, il est exclu qu'il puisse s'y produire des phénomènes donnant lieu à des températures ou à des pressions inadmissibles pour la sécurité de l'installation.

Même en cas de défaillance du système de refroidissement du réacteur (sans panne simultanée de la pompe de dosage), il ne se produit pas de situation dangereuse. En effet, lorsque la température atteint 250°C, l'arrêt de la pompe P 71 est commandé par un dispositif d'alarme, et la réaction ultérieure n'entraîne qu'une augmentation modérée de la température et de la pression. Toutefois, ce déclenchement de la pompe ne constitue pas une mesure de sécurité au sens de la prévention des incidents: si la pompe P 71 continuait à fonctionner et à alimenter le réacteur, des produits indésirables de poids moléculaire élevé se formeraient au fur et à mesure de la montée en température. La pression de vapeur de ces produits est cependant si faible qu'elle n'entraînerait pas de nouvelle augmentation de la température. Les particules solides qui se seraient formées dans le réacteur devraient être éliminées mécaniquement. L'arrêt de la pompe ne crée pas, par conséquent, de conditions susceptibles d'affecter la sécurité, mais plutôt des conséquences indésirables pour l'exploitation.

Tout refoulement du contenu du réacteur C 70 vers les parties amont de l'installation par suite d'une inversion du sens de circulation du produit est rendu impossible par les clapets antiretour disposés entre les pompes (à membrane) P 71 A/B et le réacteur C 70 et par les pompes elles-mêmes (voir la figure 6.15). Quant aux colonnes situées en aval du réacteur, elles ne contiennent que de faibles

quantités d'acroléine, et aucune réaction ne peut y prendre naissance.

## 2.2. Risques d'incident

Il existe une possibilité d'incident en cas de dégagement d'une importante quantité d'acroléine. En principe, un dégagement de cette nature peut se produire dans les cas suivants:

- débord d'un réservoir de stockage par suite d'une manipulation erronée du matériel de déchargement ou d'une défaillance du dispositif de contrôle du niveau;
- détérioration ou fuite d'un wagon-citerne ou d'un réservoir de stockage d'acroléine par suite d'une défaillance du dispositif de contrôle de la pression;
- rupture du flexible de déchargement;
- polymérisation de l'acroléine dans les réservoirs de stockage en raison d'impuretés présentes dans l'acroléine ou d'autres produits introduits par erreur dans les réservoirs de stockage;
- fuite des pompes centrifuges P 23 A/B;
- détérioration ou fuite du séparateur B 71 par suite d'une défaillance du dispositif de contrôle de la pression;
- réaction exothermique prenant naissance dans la cuve R 72 en raison d'une défaillance du dispositif de contrôle du niveau ou d'une erreur commise lors de l'évacuation de l'eau;
- fuite des pompes à membrane P 71 A/B;
- non-fonctionnement de la torchère A 750 par suite d'une erreur de conduite ou d'une panne de l'alimentation en gaz naturel.

Les fuites de la tuyauterie ou de la robinetterie (4.1.1.6), la corrosion (4.1.2.1), l'utilisation de matériaux inappropriés (4.1.2.2), les prélèvements d'échantillons (4.1.2.3), les pannes d'alimentation en énergie ou en fluides d'exploitation (4.1.2.4), les pannes de machines (4.1.2.5), les risques provenant d'autres unités de production de l'usine Deka (4.1.3), les risques liés au voisinage (4.1.4) et les actes de malveillance (4.1.5) peuvent être exclus en tant que facteurs susceptibles d'entraîner un incident grave.



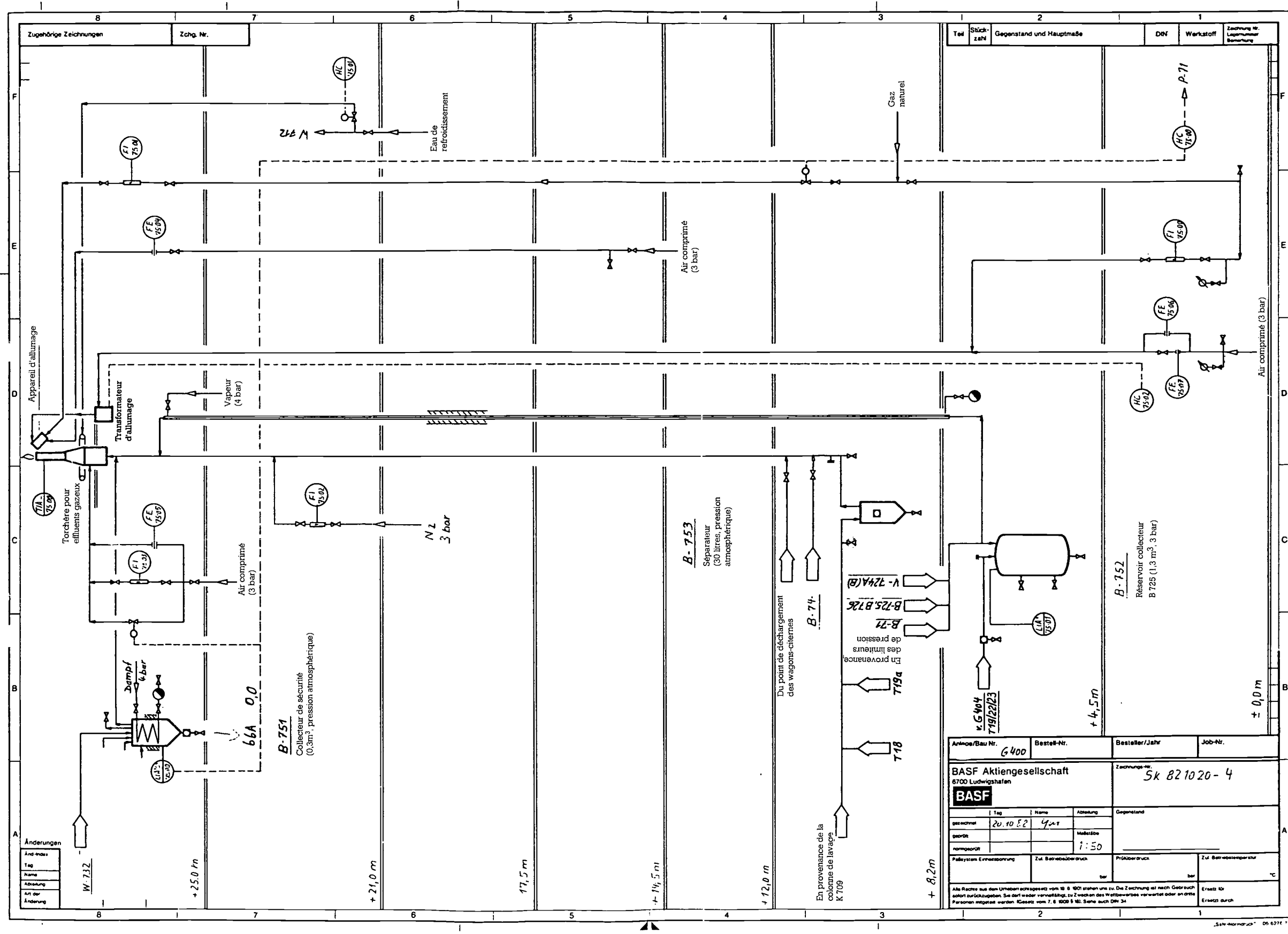


Figure 6.16. Schéma d'installation de la torchère A 750





### 3. Identification chimique, état et quantité des substances selon l'annexe II de l'ordonnance de 1980 (art. 7(1)3)

Quantité d'acroléine stockée, transvasée ou traitée:

- a) réservoirs de stockage: max. 60 t;
- b) séparateur B 71: environ 1 t;
- c) wagon-citerne: 20 t.

Température: ambiante.

Caractéristiques des substances: les caractéristiques ayant trait à la sécurité et les données toxicologiques sont indiquées au tableau de la figure 6.17. On ne connaît pas de réaction secondaire pouvant mettre en jeu la sécurité.

### 4. Description des mesures prises pour satisfaire aux conditions requises par les articles 3 à 6 (art. 7(1)4)

#### 4.1. Prévention des incidents

##### 4.1.1. Risques spéciaux liés à l'exploitation

##### 4.1.1.1/2 Déchargement et stockage de l'acroléine (figure 6.13)

Une erreur de manœuvre ou une défaillance du dispositif de contrôle du niveau (LIAS 76-10, 20 et 30 et LAS 76-11, 21 et 31) peuvent entraîner des débords des réservoirs de stockage B 19, 22 et 23.

Les erreurs de manœuvre sont exclues dans une large mesure si l'on se conforme aux consignes régissant le déchargement des wagons-citernes et le stockage de l'acroléine. Toutefois, s'il se produit un remplissage excessif par suite d'une erreur ou d'un manque d'attention du préposé au transfert, le dispositif de contrôle du niveau déclenche une alarme et ferme les robinets d'alimentation HS 76-10, 20 et 30. Les deux fonctions alarme et mise à l'arrêt sont équipées en duplex (LIAS et LAS), ce qui fait que l'alarme sera déclenchée et l'arrêt assuré dans tous les cas, c'est-à-dire même si l'un des systèmes tombe en panne.

Ces mesures excluent pratiquement tout remplissage excessif et tout débord des réservoirs de stockage.

### Figure 6.17. Acroléine: Caractéristiques et effets

L'acroléine est un liquide toxique incolore, fortement réactif, à odeur pénétrante. Elle irrite la peau, les yeux et les muqueuses. Inhalée sous forme de vapeurs, elle provoque des brûlures au niveau de l'appareil respiratoire. L'ingestion d'acroléine entraîne de l'irritation, des nausées, des vomissements et de la diarrhée.

(a) Caractéristiques générales	
Formule	CH <sub>2</sub> = CH - CHO
Masse moléculaire	56,06
Point de fusion	- 88 °C
Point d'ébullition	
à 1 013 mbar	53 °C
Pression de vapeur à 20°C	286 mbar
Masse volumique (liquide) à 20°C	0,84 g/cm <sup>3</sup>
Masse volumique relative (vapeur) (air = 1)	1,94
Solubilité dans l'eau à 20°C	26,7 g/100 cm <sup>3</sup>
L'acroléine est soluble dans de nombreux solvants organiques	
(b) Caractéristiques ayant trait à la sécurité	
Point d'éclair	-29 °C
Classe de risque selon VbF <sup>1</sup>	AI
Température d'ignition	280 °C
Température d'ignition (stabilisée)	210 °C
Classe de température	T3
Limites d'explosivité (% en volume dans l'air)	2,8-31
Stabilisation à l'hydroquinone (tendance à la polymérisation)	
Réaction violente avec les alcalis et les oxydants	
(c) Effets toxiques	
Toxicité aiguë:	
Homme, inhalation: CL <sub>50</sub> = 153 ppm/10 min	
Animal (rat), voie orale: DL <sub>50</sub> = 46 mg/kg	
Animal (souris), voie orale: DL <sub>50</sub> = 40 mg/kg	
Seuil olfactif = 0,2-0,4 ppm	
(d) Concentration maximale sur les lieux de travail 0,1 ppm = 0,25 mg/m <sup>3</sup>	
Références:	
C. W. Smith:	<i>Acrolein</i> (Hüthig Verlag, 1975).
Hommel:	<i>Handbuch der gefährlichen Güter</i> , Merkblatt 218.
Kühn-Birett:	<i>Merkblätter «gefährliche Arbeitsstoffe»</i> , n° A 09.
DEGUSSA:	Merkblatt <i>Acrolein</i> .
National Institute for Occupational Safety and Health (Etats-Unis):	<i>Registry of toxic effects of chemical substances</i> (1980).

Détérioration ou fuite d'un wagon-citerne par suite d'une pression intérieure exagérée: une telle éventualité ne peut se produire qu'en cas de défaillance simultanée du poste réducteur d'azote PC 76-08 a/b, des limiteurs de pression qui l'équipent et du système régulateur de la pression PIC 76-01.

*Détérioration ou fuite d'un réservoir de stockage de l'acroléine* par suite d'une pression intérieure exagérée: une telle éventualité ne peut se produire qu'en cas de défaillance simultanée du poste réducteur d'azote PC 76-08a/b, des limiteurs de pression qui l'équipent et du dispositif avertisseur de pression haute PICAS, et de non-éclatement d'un des disques de rupture. Le dispositif PICAS ferme les robinets HS 76-10, 20 et 30 de la tuyauterie d'alimentation en acroléine ainsi que le robinet d'alimentation en azote lorsque la pression haute est atteinte dans la tuyauterie d'azote.

Ces mesures de sécurité excluent pratiquement toute possibilité de fuite d'un wagon-citerne ou d'un réservoir de stockage.

Les mesures ci-après excluent toute *rupture du flexible de déchargement* et toute fuite d'acroléine:

- a) la circulation automobile est interdite au voisinage du poste de déchargement (voir la figure 6.1);
- b) les wagons-citernes sont immobilisés par des sabots et ne peuvent donc être déplacés de manière intempestive;
- c) la seule voie ferrée menant au poste de déchargement est bloquée par un aiguillage verrouillé dans le sens opposé et par un double signal lumineux rouge, ce qui exclut l'approche d'un autre wagon pendant le déchargement;
- d) le flexible de transfert fait l'objet d'un contrôle visuel avant chaque utilisation;
- e) le préposé au déchargement surveille l'opération de manière continue. S'il survient une fuite, les mesures suivantes sont prises immédiatement sur place: l'acroléine est canalisée vers la torchère par le dispositif de purge d'urgence (HS 76-00 ouvert) et la canalisation d'acroléine est fermée (HC 76-01 fermé).

*L'introduction d'un autre produit dans les réservoirs d'acroléine* peut entraîner une polymérisation de cette substance et provoquer ainsi l'éclatement des disques de rupture (voir 1.5.1(5)) et, en définitive, un passage de l'acroléine dans le réservoir collecteur. Ce risque peut néanmoins être exclu avec une certitude quasi absolue si l'on observe les précautions ci-après:

- a) seuls des wagons-citernes contenant de l'acroléine seront acheminés au poste de déchargement. Si aucun autre produit n'y est déchargé, les réservoirs d'acroléine ne pourront recevoir d'autre produit, même si le personnel devait commettre une erreur (confusion de robinets ou de bras de chargement);
- b) avant de décharger un wagon-citerne, il est impératif de s'assurer que la citerne contient bien de l'acroléine ayant le degré de pureté spécifié;
- c) les réservoirs de stockage de l'acroléine ne sont raccordés qu'au poste de déchargement E 405 et à l'installation de production. Il n'existe aucune autre canalisation véhiculant des gaz ou des liquides destinés à d'autres unités de production (à l'exception des conduites d'alimentation en azote).

La présence dans l'acroléine de *traces d'impuretés* suffirait à provoquer une polymérisation. On prévient ce risque en transférant l'acroléine du wagon-citerne aux réservoirs à l'aide d'azote épuré qui recouvre également le plan d'acroléine dans les réservoirs. Cet azote, on l'a vu, n'est pas fourni par le réseau d'azote de l'usine mais par un évaporateur à froid.

En cas de *panne du gazéifieur à froid assurant l'alimentation en azote épuré*, des batteries de bouteilles d'azote garantissent une alimentation de secours. La baisse des réserves d'azote est affichée dans la salle de commande par PIA 76-03 et 76-04 (figure 6.13).

Une *polymérisation de l'acroléine* dans les réservoirs de stockage est hautement improbable en raison des mesures prises sur les plans organisationnel et technique. Si elle devait néanmoins se produire en dépit de ces mesures, les précautions ci-après ont été prévues pour faire face à cette éventualité.

Le début d'une polymérisation se traduit tout d'abord par une montée de la température. Celle-ci est maintenue au-dessous de 20°C grâce à un système d'arrosage. Les dispositifs de contrôle de la température (TIAS 76-10, 11 et 12; 20, 21 et 22; 30, 31 et 32) sont triplés en raison de leur importance et couplés en duplex, ce qui exclut pratiquement qu'une température anormalement élevée puisse

passer inaperçue. Si deux des trois capteurs détectent une température supérieure à 30°C, une alarme retentit dans la salle de commande et le système de sécurité déclenche automatiquement:

- a) l'injection d'hydroquinone dans le circuit d'acroléine à partir du réservoir B 19A, par l'ouverture des robinets HS 76-11, 21 et 31, respectivement (figure 6.13);
- b) la fermeture du robinet HS 76-03, qui interrompt la circulation du produit des réservoirs de stockage vers l'unité de synthèse;
- c) l'arrêt de la pompe P 71.

La polymérisation de l'acroléine est une réaction qui intervient au niveau des radicaux, c'est-à-dire des groupements d'atomes. Or, l'hydroquinone capte des radicaux; ses radicaux réagiraient avec ceux de la polymérisation et mettraient fin à celle-ci.

La quantité d'hydroquinone dissoute dans du méthanol et stockée dans le réservoir B 19A est d'environ 40 kg, ce qui correspond à 0,2 pour cent environ de la quantité maximale d'acroléine stockée dans un réservoir. La quantité d'hydroquinone nécessaire à la stabilisation de monomères de qualité commerciale est de l'ordre de 100 ppm. A première vue, cette quantité d'hydroquinone pourrait réagir avec la même quantité d'initiateurs radicalaires ayant même masse moléculaire. Il est toutefois inconcevable qu'une telle quantité d'impuretés puisse parvenir dans un réservoir d'acroléine. On peut donc être assuré qu'aucune polymérisation naissante ne pourrait s'y développer.

Des dispositifs de protection supplémentaires ont néanmoins été prévus: un réservoir collecteur pour l'acroléine, des lances à eau pour refroidir l'extérieur des réservoirs de stockage, ainsi qu'une colonne de lavage K 709.

La pression dans l'espace qui sépare les deux disques de rupture montés en série sur chaque réservoir de stockage est mesurée par les capteurs PIAS 76-11, 21 et 31, respectivement. Dès que le premier disque se déchire, le robinet d'eau HS 76-02 de la colonne de lavage K 709 s'ouvre automatiquement. Lorsque le deuxième disque éclate, l'acroléine passe dans la colonne où l'injection d'eau se fait au rythme d'environ 2,5 m<sup>3</sup>/h. Un calcul grossier montre que si l'acroléine pénètre dans la colonne sous forme gazeuse, celle-ci peut

en condenser jusqu'à 1 t/h; si l'acroléine se présente sous forme liquide, la colonne peut en éliminer jusqu'à 3 t/min.

Une analyse des mesures mises en place permet de conclure, après un examen réaliste des diverses éventualités, que le risque d'une polymérisation de l'acroléine peut être écarté.

Les fuites d'acroléine au niveau des pompes centrifuges P 23 A/B sont improbables du fait que ces pompes sont équipées de garnitures mécaniques doubles à grain mobile (voir 2.1.2). Un détecteur-avertisseur de gaz est installé à titre de protection supplémentaire avec deux capteurs montés directement sur les pompes (voir 2.1.2). Il s'agit d'une protection primaire contre les explosions conformément au point E 1.4.1 des directives EX-RL sur la protection contre les explosions.

#### 4.1.1.3. Séparateur d'eau B 71 et cuve R 72 pour le traitement des effluents liquides (figure 6.14)

Une défaillance du régulateur de pression PIRC 70-01 dans le séparateur B 71 peut entraîner une surpression dangereuse. L'appareil est donc équipé de deux soupapes de sûreté.

Réaction exothermique entre l'acroléine et la soude caustique dans la cuve R 72. L'eau qui se dépose au fond du séparateur B 71 est évacuée dans la cuve R 72 pour éviter tout dégagement d'acroléine. Cette évacuation est contrôlée dans la salle de commande grâce aux signaux transmis par LIRCA 70-02 et LIRSA 70-03. Le dispositif de mesure et de régulation du niveau (LIRSA 70-03), qui contrôle le niveau de l'interface acroléine-eau et ferme le robinet 70-03 lorsque le niveau bas est atteint, n'a qu'une fonction de sécurité.

En cas de défaillance du dispositif LIRSA 70-03 et d'une erreur concomitante dans la commande de l'évacuation d'eau, d'importantes quantités d'acroléine risquent d'entrer dans la cuve R 72 et d'y provoquer une forte augmentation de la température par suite d'une réaction exothermique avec la soude caustique contenue dans la cuve. Si c'est le cas, le contenu de la cuve peut être refroidi et dilué par de l'eau admise grâce à une alimentation d'eau séparée. Toute augmentation de la pression est exclue, puisque la cuve R 72 communique librement avec l'atmosphère.

Ces diverses mesures préviennent efficacement toute réaction dangereuse de l'acroléine sur la soude caustique.

#### 4.1.1.4. Pompes de dosage P 71 A/B (figure 6.15)

Un *risque de fuite* au niveau de ces pompes est pratiquement exclu. Il s'agit en effet de pompes à membrane qui ne présentent aucun problème d'étanchéité puisqu'elles ne comportent aucun élément mobile, rotatif ou autre.

Les *surpressions dangereuses* qui pourraient se développer si le côté refoulement des pompes était bloqué sont évitées grâce à l'insertion de soupapes de détente entre le côté refoulement et le côté aspiration (voir 2.1.4).

#### 4.1.1.5. Torchère A 750 pour le brûlage des effluents gazeux (figure 6.16)

Une *défaillance de la torchère* est possible en cas de *fausse manoeuvre* ou de *panne de l'alimentation en gaz naturel*. Elle serait détectée par la baisse de température qui se produit à la sortie de la torchère et transmise à la salle de commande par TIA 75-00. Si une telle défaillance se produisait, l'ensemble de l'installation d'acroléine serait arrêtée conformément aux instructions de service et de sécurité.

Jusqu'à l'arrêt complet de l'installation, il y aurait rejet d'acroléine non brûlée par la torchère en panne, mais la quantité rejetée serait faible. Si l'on part de l'hypothèse que l'acroléine est saturée à 50 pour cent (ce qui est thermodynamiquement possible), on arrive à une valeur d'environ 0,3 kg/h d'acroléine pour un débit de 1 m<sup>3</sup>/h d'effluents gazeux émis par les systèmes de régulation de la pression et du niveau. Le gaz sortirait de la torchère à une hauteur d'environ 28 m.

Une défaillance de la torchère ne présente donc aucun risque.

#### 4.1.1.6. Tuyauterie et robinetterie

Des *fuites au niveau de la tuyauterie et de la robinetterie* sont peu probables du fait que les tuyaux ont, chaque fois que cela était faisable, été soudés en continu et que les brides sont munies de garnitures spéciales (du type Spiroflex). Les fuites éventuelles ne pourraient présenter d'ailleurs qu'un léger inconvénient et seraient vite éliminées. La

détection et la localisation des fuites seraient considérablement facilitées par l'odeur caractéristique de l'acroléine et son seuil olfactif qui est très bas. Des visites de contrôle sont effectuées toutes les heures (4.3.1).

La *rupture mécanique* d'une canalisation véhiculant de l'acroléine ne constitue pas un risque. En effet, la tuyauterie est protégée autant que faire se peut. Le fait que les tuyaux ont été dimensionnés pour une pression nominale minimale de 10 bar (qui n'est pas exigée pour le procédé utilisé) garantit leur bonne tenue aux éventuelles sollicitations mécaniques qui pourraient leur être imposées de l'extérieur.

Afin d'exclure toute *confusion* (lors des réparations, par exemple), les tuyaux sont marqués à intervalles d'environ 5 m.

### 4.1.2. Risques généraux d'exploitation

#### 4.1.2.1. Corrosion

Les appareils de l'installation et les éléments de tuyauterie qui sont en contact avec l'acroléine sont tous en acier inoxydable (1.4541). Selon l'état actuel des connaissances, l'acier inoxydable résiste parfaitement à l'acroléine, ce qui est confirmé par le fait qu'aucune corrosion n'a été détectée dans l'installation considérée qui est en service depuis quinze ans.

#### 4.1.2.2. Utilisation de matériaux inappropriés

L'ensemble de l'installation a été conçu et construit conformément au code<sup>3</sup> qui régit les matériaux et le mode d'exécution des ouvrages. Les mêmes règles sont observées lors des réparations et des modifications. Depuis la mise en service de l'installation, rien n'indique que d'autres matériaux que ceux qui avaient été spécifiés aient été utilisés par erreur en un point quelconque de l'installation.

#### 4.1.2.3. Prélèvements d'échantillons

Avant tout déchargement d'un wagon-citerne d'acroléine, on procède au remplissage d'un petit récipient monté sur la canalisation qui relie le wagon-citerne aux réservoirs de stockage. Après l'avoir isolé par la fermeture de deux robinets, le préposé y prélève manuellement un échantillon. Ce n'est qu'après l'analyse de l'échantillon qu'il entreprend le déchargement. On exclut ainsi

pratiquement tout risque pouvant provenir de l'opération d'échantillonnage.

#### 4.1.2.4. Pannes d'alimentation en énergie et en fluides d'exploitation

En cas de panne de vapeur, d'eau de refroidissement, d'air comprimé, de gaz naturel ou d'électricité, l'installation est mise à l'arrêt conformément aux instructions de service et de sécurité. Aucun des systèmes ayant une fonction de sécurité ne devant être chauffé ou refroidi, une panne de vapeur ou d'eau de refroidissement ne saurait présenter un risque.

Le chauffage (TIC 70-58) de la cuve R 72 (figure 6.14) sert uniquement par temps très froid et pour protéger l'installation contre le gel lorsqu'elle est à l'arrêt. La réaction dans la cuve R 72 se déroule à température ambiante.

Une panne dans le circuit de refroidissement ne permettrait plus d'arroser les réservoirs d'acroléine, ce qui entraînerait, par temps chaud et au bout de plusieurs jours, une augmentation très lente de la température à l'intérieur des réservoirs.

Une augmentation de cette nature confirmerait qu'il n'y a pas d'impuretés dans l'acroléine, ce qui exclut tout risque de polymérisation. La probabilité d'une polymérisation de l'acroléine due à des impuretés survenant en même temps qu'une panne du système de refroidissement est si faible qu'on peut l'écarter. Il convient de rappeler que l'acroléine exempte d'impuretés est transportée en wagons-citernes non refroidis. Les triples dispositifs de contrôle de la température montés sur les réservoirs d'acroléine (et les mesures de sécurité qui y sont associées) ont été prévus pour empêcher le développement de toute polymérisation accompagnée d'une augmentation rapide de la température.

Au cas où l'alimentation en air comprimé ou en électricité viendrait à manquer, les dispositifs de mesure et de contrôle du procédé et les circuits électriques se mettraient automatiquement en position de sécurité et l'installation pourrait être arrêtée sans danger.

Si l'alimentation en gaz naturel venait à manquer, il y aurait une petite émission d'acroléine (voir 4.1.1.5). L'alimentation en azote épuré est suffisante pour assurer l'inertage de tous les

éléments de l'installation qui contiennent de l'acroléine (voir 2.1.1, 4.1.1.1/2).

Aucune panne de ce genre ne pourrait donc conduire à une situation dangereuse. C'est la raison pour laquelle l'installation n'est dotée ni de source d'énergie indépendante, ni d'alimentation de secours (sauf pour l'azote épuré). Quant à l'éclairage de secours, il est traité au point 1.5.3.

#### 4.1.2.5. Pannes de machines

En cas de panne de secteur, toutes les machines s'arrêtent. La circulation des matières est également interrompue du fait de l'arrêt des pompes (P 23 A/B, P 71 A/B). Celui-ci n'a pas d'incidence sur la sécurité, mais uniquement sur la qualité des produits et la fiabilité de l'installation.

Lorsque les pompes P 23 A/B s'arrêtent, la circulation d'acroléine est interrompue dans les réservoirs de stockage et on ne peut y injecter de l'hydroquinone. La probabilité qu'une panne de secteur coïncide avec la nécessité d'ajouter de l'hydroquinone en cas d'augmentation de la température de l'acroléine est si faible qu'aucune mesure de sécurité supplémentaire n'a été prévue. A la lumière d'une expérience s'étendant sur plusieurs années, il apparaît qu'on ne peut escompter plus d'une panne de secteur d'une durée de trente minutes à deux heures en plusieurs années. Depuis le début du stockage de l'acroléine en 1969, il n'a jamais été nécessaire d'ajouter de l'hydroquinone.

Si l'agitateur de la cuve R 72 tombe en panne, la réaction entre l'acroléine et la soude caustique sera incomplète et les traces d'acroléine dégageront une odeur désagréable.

#### 4.1.2.6. Protection contre les incendies et les explosions

Toutes les installations de l'usine Deka répondent aux mesures primaires de protection contre les explosions visées aux points E 1.3.1 à 1.3.3 des directives EX-RL.

Dans les zones présentant un danger d'explosion (voir 1.1.2), les sources d'ignition (surfaces chaudes, flammes, gaz brûlants, étincelles d'origine mécanique, installations électriques, courants électriques de compensation, électricité statique, foudre, etc.) sont rendues inoffensives par

les mesures prises conformément à la section E2 des directives EX-RL (protection secondaire contre les explosions).

Une explosion ne peut se produire à l'intérieur des réservoirs ou de la tuyauterie. En effet, tous les éléments contenant des liquides ou des vapeurs inflammables sont recouverts d'une atmosphère protectrice d'azote (protection primaire contre les explosions conformément au point E 1.2.2 des directives EX-RL). Quant aux effluents gazeux inflammables, ils sont acheminés vers la torchère A 750, dont le dispositif d'allumage et les flammes de combustion se trouvent en dehors de la zone dangereuse.

Enfin, tout travail impliquant l'emploi de feux nus doit faire l'objet d'une autorisation préalable écrite.

L'installation est conçue pour résister aux sollicitations pouvant résulter d'un incident. Elle est largement pourvue de dispositifs d'avertissement, d'alarme et de sécurité. Les systèmes de mesure et de contrôle des opérations sont doublés, voire triplés, et réalisés selon des conceptions éprouvées. L'ensemble de l'installation est conforme aux techniques de sécurité de notre époque, et notamment à la réglementation sur la prévention des accidents, aux normes régissant les récipients sous pression, aux directives techniques relatives aux liquides inflammables, aux normes DIN et VDE et aux directives sur la protection contre les explosions (EX-RL) de la Fédération nationale des caisses d'assurance contre les accidents du travail dans l'industrie.

La fiabilité de chacun des systèmes de mesure et de contrôle des opérations est attestée par l'expérience faite au cours de l'exploitation et par des méthodes ad hoc. Toute condition anormale survenant en cours d'exploitation est affichée dans la salle de commande par des moyens optiques et acoustiques. Toutes les fonctions de mesure et de contrôle des opérations ayant trait à la sécurité (niveau, pression et température dans les réservoirs de stockage, par exemple) sont de type redondant.

#### **4.1.3. Risques provenant d'autres unités de production de l'usine Deka**

Les unités voisines de production appartenant à l'usine Deka mettent en œuvre des substances inflammables ou toxiques. Les risques qu'elles

présentent pour l'installation d'acroléine sont de trois ordres: émissions toxiques, incendie et explosion.

Des émissions sans ignition ne compromettent pas la sécurité de l'installation d'acroléine. Par ailleurs, le personnel d'exploitation est muni du matériel de protection individuelle nécessaire et peut arrêter l'installation à tout instant à partir de la salle de commande. Pour prévenir les incendies et les explosions, l'ensemble de l'usine Deka est équipé conformément aux directives de protection contre les explosions (voir 1.1.2). L'installation d'acroléine satisfait aux mêmes normes de sécurité que les autres unités de production. On peut, à chaque instant, mettre à l'arrêt n'importe quelle unité de l'usine.

Des moyens efficaces permettent de lutter contre tout incendie prenant naissance à proximité immédiate d'un réservoir de stockage d'acroléine ou de toute autre partie de l'installation d'acroléine (voir 4.2.2).

Un autre risque potentiel est lié à l'hydrogène sous pression pouvant s'échapper d'appareils situés à une trentaine de mètres et capable de s'enflammer spontanément. Cette distance est toutefois trop grande pour qu'une flamme d'hydrogène puisse entrer en contact direct avec des appareils contenant de l'acroléine (cette conclusion découle d'une estimation de la longueur de flamme fondée sur la théorie des jets libres, en prenant en considération les conditions les plus défavorables susceptibles de se présenter). L'effet indirect d'une flamme d'hydrogène dû à son rayonnement est faible, et des particules de suie ne peuvent se former. En outre, l'installation peut être arrêtée à tout instant sans que cela présente aucun danger. On peut, en définitive, ignorer les risques liés à un dégagement d'hydrogène sous pression.

#### **4.1.4. Risques liés au voisinage**

##### **4.1.4.1. Installations avoisinantes (voir le plan de situation de l'usine (figure 6.1) et la section 1.1.1)**

L'usine Deka jouxte de deux côtés – au sud et à l'ouest – des ateliers, un bassin, une cantine, des bâtiments de bureau et des installations de stockage et de conditionnement qui ne présentent aucun risque pour elle.

Au nord et à l'est de l'usine, on trouve des installations de production. Celles-ci ne sauraient toutefois présenter de risque majeur, les distances qui les séparent de l'usine étant trop grandes. Ce qui a été dit sous 4.1.3 au sujet des émissions éventuelles de substances toxiques est valable ici également. Quant aux incendies et aux explosions, les mesures prises à leur rencontre dans les installations environnantes sont aussi sévères que dans l'usine Deka (voir 4.1.2.6). On peut donc affirmer que l'usine Deka et les installations avoisinantes offrent les mêmes garanties de sécurité.

L'usine X, par contre, présente un risque spécifique lié à l'émission de gaz inflammables (cette usine est d'ailleurs soumise à l'ordonnance de 1980 sur les incidents). La mesure la plus importante, pour l'usine Deka, consiste dès lors à éliminer sans délai toutes les sources d'ignition (extinction de la torchère, révocation des autorisations accordées pour des travaux mettant en œuvre des feux nus – voir 4.1.2.6).

Si la sécurité de l'usine Deka venait à être affectée par des installations environnantes, l'usine serait alertée par le système d'alarme collectif. Ce système d'alarme et les mesures à prendre sont abordés plus loin (4.2.3).

#### 4.1.4.2. Circulation

L'usine se trouve à 800 m environ du Rhin et à 250 m environ de l'artère publique la plus proche. Son implantation ressort du plan (figure 6.1) et de la description donnée dans la section 1.1.1. La seule route du complexe industriel qui est ouverte à la circulation (direction est-ouest) longe l'usine Deka et est bordée d'une zone de sécurité de 10 m de largeur. De plus, l'installation d'acroléine est séparée de cette route par le bâtiment des bureaux et par la salle de commande de l'usine Deka. La distance entre la route et l'installation d'acroléine est de 30 m environ. A l'intérieur du complexe industriel, la vitesse est limitée à 30 km/h et les règles de circulation usuelles sont applicables (priorité de droite). Enfin, aucun aérodrome ne se trouve au voisinage de l'usine.

Les risques inhérents à la circulation peuvent donc être ignorés.

#### 4.1.4.3. Risques liés à des phénomènes naturels

L'usine Deka est située dans une région de faible activité sismique (zone sismique 1, selon la norme DIN 4149). Conformément aux règlements de construction, la stabilité des ouvrages est assurée par les soins apportés à leurs fondations et à leur structure.

Le risque d'inondation peut être écarté, car l'usine est située au-dessus du niveau le plus haut jamais atteint par une crue, ainsi que cela ressort des observations s'étendant sur de nombreuses années.

#### 4.1.5. Actes de malveillance

L'usine se trouve à l'intérieur d'un périmètre clôturé, et seules les personnes autorisées peuvent y pénétrer. Elle est éclairée la nuit et surveillée par des gardiens qui effectuent des tournées toutes les heures. Les personnes étrangères à l'usine doivent s'annoncer à l'entrée de celle-ci (cartes d'enregistrement), ce qui paraît être une précaution suffisante.

### 4.2. Mesures destinées à limiter les conséquences des accidents

#### 4.2.1. Fondations et éléments porteurs

Les fondations et les éléments porteurs ont été calculés et exécutés conformément aux règlements de construction. Leur stabilité a été contrôlée dans le cadre de la procédure d'octroi du permis de construire et de l'autorisation accordée conformément à la législation antipollution. Fondations et éléments porteurs sont en mesure d'absorber les sollicitations prévues.

#### 4.2.2. Mesures de protection et systèmes de sécurité

Le réservoir collecteur des réservoirs de stockage d'acroléine a été étudié et exécuté conformément à la directive TRbF 110 (voir 2.1.2).

Le système d'arrosage à l'eau prévu pour les réservoirs de stockage sert avant tout à refroidir leur contenu.

Bien que les quatre lances d'arrosage fixes soient également utilisées pour le refroidissement, elles sont destinées essentiellement à lutter contre les incendies et à précipiter les gaz et les vapeurs

en suspension dans l'air. Elles sont placées (voir les quatre points noirs de la figure 6.1) de telle sorte que le parc des réservoirs d'acroléine (G 404) en particulier soit bien protégé. En cas d'incendie survenant à proximité immédiate des réservoirs d'acroléine, ceux-ci pourront être refroidis de manière efficace. Les lances et la pompe de surpression qui les alimente ont été dimensionnées sur la base de l'expérience acquise par les sapeurs-pompiers du complexe industriel.

Les dispositifs avertisseurs de gaz montés sur les pompes P 23 A/B assurent la détection rapide des fuites éventuelles (voir 2.1.2 et 4.1.1.1/2).

Le nombre des extincteurs sur place a été fixé par les sapeurs-pompiers.

Lors de travaux effectués dans des conditions délicates, des émetteurs-récepteurs portatifs assurent la communication entre l'installation visée et la salle de commande.

Conformément aux instructions de service et de sécurité, le personnel d'exploitation dispose de tout le matériel de protection individuelle nécessaire. La salle de commande est équipée de raccords à air frais et de masques à adduction d'air. Le nombre des douches de décontamination et des postes d'irrigation oculaire est suffisant. Le plan d'intervention en cas d'incident (incendie, émission d'acroléine, etc.) fait partie intégrante des instructions de service et de sécurité.

Le service médical et les sapeurs-pompiers du complexe industriel sont prêts à intervenir à tout instant. Les services d'intervention extérieurs au complexe peuvent accéder au site sans difficulté (voir 1.1.3).

Les sapeurs-pompiers du complexe industriel sont alertés par téléphone; leur poste sud se trouve à une distance d'environ un km. Le temps qui s'écoule entre l'alerte et leur arrivée ne dépasse pas trois minutes. Aidés par le personnel de l'usine, les sapeurs-pompiers s'attaquent immédiatement au sinistre.

#### **4.2.3. Plans d'alarme et d'intervention en cas d'incident**

##### **4.2.3.1. Situations critiques prenant naissance dans l'usine Dekka**

###### **Alarme**

Le personnel d'exploitation de l'usine et, en cas de besoin, les sapeurs-pompiers du complexe industriel sont alertés conformément au plan d'intervention de l'usine qui établit une distinction entre:

- les situations critiques courantes dues à des fuites de faible ou moyenne importance au niveau des pompes, de la tuyauterie ou de la robinetterie qui peuvent être colmatées sans délai et ne présentent pas de danger pour les installations avoisinantes;
- les situations critiques de petite envergure, dues à un dégagement de produits chimiques de moyenne importance, qui ne peuvent être éliminées sans délai et qui risquent d'affecter la sécurité des installations avoisinantes;
- les situations critiques de grande envergure, dues à un dégagement important de produits chimiques et qui présentent un danger immédiat pour les installations avoisinantes.

###### **Mesures d'intervention**

Les sapeurs-pompiers sont responsables de la mise en alerte du personnel et du contrôle de l'accès à la zone environnante, notamment aux ateliers, au bassin et à la cantine. Quant au personnel d'exploitation, il applique les consignes données dans les instructions de service et de sécurité.

Le plan d'intervention de l'usine Dekka prescrit à l'ensemble du personnel d'appliquer les consignes générales ci-après:

- fermer toutes les portes et toutes les fenêtres, arrêter tous les ventilateurs, éliminer toutes les sources d'ignition (cigarettes, appareils électriques, postes de soudage, autres travaux mettant en œuvre des feux nus);
- quitter les locaux en sous-sol;
- suivre les instructions données par les sapeurs-pompiers;



- quitter le bâtiment aux premiers signes d'irritation lacrymogène en utilisant les appareils filtrants prévus à cet effet;
- ne pas utiliser les ascenseurs;
- se rendre aux points de rassemblement désignés.

- utiliser les itinéraires d'évacuation lorsque l'ordre est donné par les sapeurs-pompiers de se rendre aux points de rassemblement désignés, en se servant des appareils filtrants prévus à cet effet.

Les plans d'alarme et d'intervention ont été approuvés par l'autorité compétente.

#### 4.2.3.2. Situations critiques prenant naissance dans les installations avoisinantes

Ces situations provoquent le déclenchement de l'alerte collective F 400/G 400.

L'usine Deka est alertée:

- par l'alarme sonore de l'installation voisine;
- par télex, à partir du système central d'alarme de la société BASF.

Le plan d'intervention prévoit les mesures ci-après:

- mise en place de barrages routiers par le personnel local jusqu'à l'arrivée de l'équipe d'intervention du complexe industriel;
- dans l'usine Deka:
  - extinction de la torchère A 750;
  - interdiction générale de fumer;
  - révocation de toutes les autorisations pour les travaux qui mettent en œuvre des feux nus;
  - fermeture des fenêtres et des portes, arrêt des systèmes de ventilation et de climatisation pour éviter l'entrée de gaz dangereux;
  - évacuation des locaux en sous-sol;
  - interdiction d'utiliser les ascenseurs;
  - se tenir à l'écart des baies vitrées; ne jamais observer un incendie ou un dégagement de gaz de derrière une fenêtre;
  - rester aux postes de travail sauf si ceux-ci sont à proximité immédiate de baies vitrées, dans les laboratoires ou les bureaux, par exemple;
  - attendre de voir si une alerte est donnée dans l'installation où l'on se trouve;

#### 4.2.4. Responsabilité

La direction du Service de protection de l'environnement et de sécurité du travail est chargée de l'application des mesures destinées à limiter les conséquences des accidents. Elle peut être jointe à tout moment en passant par le poste permanent des sapeurs-pompiers du complexe industriel.

### 4.3. Mesures complémentaires

#### 4.3.1. Surveillance, maintenance et réparations

L'installation fait l'objet d'une surveillance permanente par le personnel de la salle de commande; cette surveillance se double, sur place, de tournées d'inspection effectuées toutes les heures pour vérifier si les conditions d'exploitation sont normales. Les systèmes électriques et les dispositifs de mesure et de régulation ayant une fonction de sécurité font l'objet d'un contrôle régulier, conformément au programme de maintenance et d'inspection. Les appareils, les machines, la tuyauterie et la robinetterie sont entretenus et réparés chaque fois que cela s'avère nécessaire, ainsi que pendant les arrêts de l'installation. Les récipients sous pression sont contrôlés régulièrement selon les normes qui leur sont applicables.

Les travaux de maintenance et de réparation indispensables sont confiés à un personnel spécialement formé et exécutés conformément aux exigences de la technique et des normes applicables en la matière.

#### 4.3.2. Formation du personnel, instructions de service et de sécurité

Les directives de sécurité de la société BASF prescrivent que le personnel d'exploitation doit être mis au courant, au moins une fois par an, des instructions de service et de sécurité. Cette information, complétée par une instruction sur place

qui met l'accent sur les conséquences d'un comportement dangereux, paraît être essentielle pour la prévention des erreurs. Grâce aux systèmes de mesure et de contrôle de la sécurité d'exploitation, les conséquences des erreurs qui pourraient néanmoins se produire peuvent être évitées.

#### 4.3.3. Documentation

Les résultats des essais et des contrôles portant sur les installations électriques et les dispositifs de mesure et de régulation sont consignés sur une formule ad hoc. Les données relatives aux contrôles effectués à partir de la salle de commande sont consignées dans le registre d'exploitation, tandis que celles relatives aux tournées d'inspection effectuées toutes les heures sont consignées dans un registre spécial.

### 5. Conséquences des accidents (art. 7(1)5)

Les systèmes de sécurité mis en place dans l'usine et décrits dans le présent rapport autorisent à conclure que les perturbations susceptibles d'affecter le bon fonctionnement de l'installation peuvent être maîtrisées et que l'on peut exclure la probabilité d'un accident. Cette conclusion est confirmée par l'expérience acquise depuis 1969 dans l'usine Deka.

Grâce aux mesures de sécurité prévues, un feu d'acroléine est hautement improbable. Si un incendie de ce type devait néanmoins se produire, les mesures décrites sous 4.2 permettraient de le circonscrire. Il convient de rappeler à ce propos que l'acroléine liquide a un point d'ébullition relativement bas. L'idée d'un danger peut être écartée en raison de la forte ascendance thermique qui prendrait naissance. Jusqu'ici, aucun feu d'acroléine ne s'est d'ailleurs déclaré dans l'usine ou dans le parc des réservoirs de stockage.

Dans le passé, des rejets ou des fuites d'acroléine de peu d'importance ont pu incommoder des travailleurs en raison de l'odeur très piquante de cette substance et de son action lacrymogène. Ces effets ne se sont toutefois pas fait sentir au-delà d'un périmètre de 10 à 20 m de la source; on ne peut donc considérer qu'il s'agit là d'un risque majeur. Le seuil d'irritation très bas de

l'acroléine constitue par lui-même un système avertisseur et rend attentif à la présence du danger, excluant dès lors qu'une exposition puisse passer inaperçue. De ce fait, toute fuite se produisant au niveau des brides, des pompes, etc. serait rapidement décelée lors des tournées d'inspection et se limiterait à des quantités peu importantes.

Si l'on suppose néanmoins qu'il se produise une fuite relativement importante, c'est-à-dire d'environ 1 litre par heure, soit de 1 à 5 gouttes par seconde, le périmètre menacé, dans les conditions les plus défavorables – évaporation immédiate, conditions de dispersion médiocres suivant les normes de lutte contre la pollution atmosphérique (catégorie de dispersion 1), seuil d'action égal à 2 ppm –, se limiterait à un rayon de 18 m. L'expérience confirme que les valeurs que l'on vient de mentionner correspondent bien à la réalité.

Il est possible que, malgré les précautions décrites sous 4.1.1.1/2, un flexible ou une tuyauterie articulée se rompe lors d'une opération de transvasement d'acroléine. Dans ce cas, 5 litres environ de liquide, c'est-à-dire le contenu du flexible et de la tuyauterie jusqu'à son point haut (voir la figure 6.10), s'échapperaient d'un coup et une quantité équivalant à 1,7 kg s'évaporerait dans les cinq minutes qui suivent. Le périmètre menacé aurait, dans ce cas, un rayon de 250 m environ.

En cas de fuite d'acroléine dans le bac collecteur – hypothèse peu réaliste –, la zone menacée ne serait pas plus étendue que lors d'un éclatement du flexible de transvasement. L'acroléine serait en effet diluée, dans les secondes qui suivent, par les jets liquides provenant des canons à eau pointés vers le bac collecteur et prêts à fonctionner en tout temps. La pression de vapeur de l'acroléine s'en trouverait radicalement diminuée. La surface d'évaporation serait plus grande qu'en cas de rupture du flexible de transvasement, mais la pression de vapeur effective serait plus faible, ce qui conduirait dans les deux situations à des taux d'évaporation et à des périmètres d'action sensiblement égaux.

Des mesures ont été prévues pour faire face à ces différentes situations. Elles comprennent la mise en alerte des sapeurs-pompiers et de toutes les installations susceptibles d'être menacées, et cela conformément au plan d'intervention en cas

d'incident. Il suffit de cinq minutes au maximum (délai confirmé par de nombreux exercices) pour que les sapeurs-pompiers soient à pied d'œuvre et mettent en place leurs moyens d'action. La fuite est attaquée à l'eau ou à la mousse, ce qui réduit d'une manière radicale – de dix fois au moins – la quantité d'acroléine qui s'échappe dans l'atmosphère. En cas de nécessité, on installe des rideaux d'eau.

Les périmètres dangereux ont été définis sur une base purement théorique et représentent des estimations maximales. Dans tous les cas de fuite, la concentration de polluant augmente lentement pour retomber en quelques minutes sans l'effet des moyens mis en œuvre. Les conditions de dispersion les plus défavorables se présentent rarement, et l'expérience a montré qu'elles ne peuvent guère se rencontrer dans l'usine en raison du microclimat qui y règne (direction et vitesse du vent) et de la topographie des lieux.

On est donc en droit de penser que, même si une quantité importante d'acroléine venait à s'échapper de façon inattendue, les mesures d'urgence prises sur place et la disponibilité permanente des sapeurs-pompiers du complexe industriel limiteraient l'incident au seul périmètre de l'usine, écartant ainsi tout danger pour la zone environnante.

L'usine Deka, on l'a vu, fait partie d'un vaste complexe industriel. Un plan d'intervention

extérieure en cas de catastrophe a été élaboré pour tous les risques susceptibles de prendre naissance à l'intérieur du complexe. Ce plan, dressé par les autorités compétentes avec la collaboration de la direction du complexe, tient compte des plans d'alarme et d'intervention qui existent au sein de l'usine. En vue de prévenir tout danger lié à la dispersion d'un nuage polluant, des plans d'alarme ont été mis au point pour la zone habitée et toutes les mesures à prendre en cas de catastrophe ont été définies d'avance. La population locale – grâce aux circulaires distribuées aux ménages et aux articles publiés dans la presse locale – connaît les dispositions à prendre en cas d'alerte; ces précautions sont toujours les mêmes, quel que soit le polluant responsable. Aucune autre mesure ne s'impose. Dès lors, le plan municipal d'intervention en cas de catastrophe prend en compte tous les risques pouvant provenir de l'usine Deka.

#### Notes

<sup>1</sup> Ordonnance sur les liquides inflammables/Directives techniques relatives aux liquides inflammables.

<sup>2</sup> Notice portant classement des zones dangereuses en fonction des risques d'explosion qu'elles présentent.

<sup>3</sup> Ce code (Projektmedienschlüssel) définit les matériaux et le mode d'exécution de la tuyauterie, des garnitures d'étanchéité et de la robinetterie à employer pour tous les fluides mis en œuvre dans l'installation, compte tenu de la pression, de la température et du diamètre nominal.

<sup>4</sup> Ces notes (Technische Blätter) servent à définir les spécifications techniques des appareils, des réservoirs, des pompes, etc., lors d'un appel d'offres ou d'une commande. Elles contiennent toutes les données utiles concernant les matériaux constitutifs, les dimensions des composants et le mode d'exécution.



**Annexe 7**

**Formule  
de notification  
des accidents majeurs**

(annexe VI de la directive 82/501/CEE)



## Informations à fournir à la Commission par les États Membres en application de l'article 11

### Rapport d'accident majeur

Etat Membre:

Autorité chargée du rapport:

Adresse:

1. Données générales

Date et heure de l'accident majeur:

Pays, département, etc.:

Adresse:

Type d'activité industrielle:

2. Type d'accident majeur

Explosion

Incendie

Emission de substances dangereuses

Substance(s) émise(s):

3. Description des circonstances de l'accident majeur

4. Mesures d'urgence prises

5. Cause(s) de l'accident majeur

Définie(s) (à préciser):

Non définie(s):

Information sera fournie dans les meilleurs délais

6. Type et importance du dommage

a) A l'intérieur de l'établissement

- Dommages  
aux personnes

..... morts  
..... blessés  
..... intoxiqués  
.....

- Personnes exposées
- Dégâts matériels
- Le danger persiste
- Le danger n'existe plus

.....

b) A l'extérieur de l'établissement

- Dommages aux personnes ..... morts  
 ..... blessés  
 ..... intoxiqués
- Personnes exposées .....
- Dégâts matériels
- Dommages à l'environnement
- Le danger persiste
- Le danger n'existe plus

7. Mesures à moyen et à long terme et notamment mesures pour éviter que des accidents majeurs semblables ne se reproduisent (à communiquer au fur et à mesure que les informations sont disponibles).



**Annexe 8**

**Occupation des sols  
à proximité  
des installations  
à hauts risques**



1. La prudence conseille, en règle générale, de séparer autant que possible les établissements où l'on stocke ou met en œuvre des quantités importantes de substances dangereuses des centres habités avoisinants et notamment des zones résidentielles, des centres commerciaux, des écoles, des hôpitaux, etc.

2. De nombreux pays appliquent à cet effet, dans le cadre de leur législation, les mesures qu'ils jugent appropriées. Au Royaume-Uni, par exemple, l'utilisation des terrains est régie par des textes qui stipulent que chaque projet de développement doit normalement faire l'objet d'une autorisation formelle délivrée par l'administration locale, laquelle peut tenir compte de la présence voisine d'un établissement à hauts risques.

3. Une attention toute particulière doit être vouée au degré de séparation nécessaire. En théorie, il faudrait pour cela imaginer la catastrophe la plus grave susceptible de survenir dans l'établissement à hauts risques et interdire tout développement à l'intérieur du périmètre de danger ainsi défini. Dans la plupart des pays – notamment si l'on considère les risques d'intoxication, dont les effets, en mettant les choses au pire, pourraient se faire sentir sur plusieurs kilomètres –, une telle politique fermerait de vastes zones aux activités économiques locales et nationales.

4. Une autre méthode consiste à appliquer les techniques de quantification des risques pour prédire le danger qu'un établissement à hauts risques peut présenter pour le développement envisagé et à déterminer si un tel risque est tolérable ou non. Cette approche exige des calculs et une analyse très complexes et ne peut sans doute être considérée que là où il existe déjà un ensemble coordonné de mesures destinées à prévenir les accidents majeurs.

5. Une démarche intermédiaire, qui a reçu au Royaume-Uni l'aval du Comité consultatif sur les risques d'accident majeur, consiste à essayer de ménager une distance raisonnable entre les projets de développement et les établissements à hauts risques. Cette manière de faire assure une protection quasi totale contre les accidents les plus courants mais relativement mineurs, d'une part, et

une protection efficace, quoique incomplète, contre des événements graves mais très rares, d'autre part.

6. Le tableau 8.1, établi sur cette base, définit des distances approximatives pour différents types d'établissements à hauts risques. Ces recommandations devraient être considérées comme ayant un caractère indicatif et leur application devrait tenir compte des circonstances locales. Si elles sont jugées trop sévères pour être acceptables, il faudra au besoin entreprendre une évaluation plus poussée en s'inspirant de la méthode exposée au paragraphe 4 ci-dessus.

#### 7. Classement des projets de développement

7.1. Lorsqu'on est appelé à prendre une décision au sujet de la distance à respecter par rapport à un établissement déjà en service, il peut être utile de classer les projets de développement en grandes catégories. Cela permet de se déterminer dans chaque cas en suivant une démarche cohérente.

7.2. Chaque catégorie de projets peut ainsi être étudiée compte tenu d'un certain nombre de facteurs qui influent sur la décision – positive ou négative – d'autoriser le projet envisagé: durée de séjour probable des occupants, facilité d'application d'un plan d'intervention en cas d'incident grave, vulnérabilité des occupants des bâtiments projetés (les personnes âgées sont particulièrement sensibles au rayonnement thermique, par exemple). Un classement sommaire communément utilisé repose sur trois catégories principales:

catégorie A: projets résidentiels, notamment maisons individuelles, hôtels et immeubles locatifs;

catégorie B: projets industriels, notamment usines (sauf celles à forte densité d'occupation) et entrepôts;

catégorie C: projets spéciaux, notamment écoles, hôpitaux et maisons de retraite.

On pourrait ajouter d'autres genres de projets à ces catégories; ainsi, les salles de spectacles et les centres commerciaux pourraient être classés dans la catégorie A.

7.3. Les distances indiquées au tableau 8.1 et les périmètres de danger qu'elles définissent devraient, en première approximation, être interprétés comme suit:

- a) à l'intérieur du périmètre de danger, pas de projet de la catégorie C;
- b) à l'intérieur d'un périmètre correspondant aux deux tiers du précédent, pas de projet de la catégorie A;
- c) pas de restrictions pour les projets de la catégorie B.

**Tableau 8.1. Distances minimales de sécurité préconisées pour les établissements à hauts risques**

Substance présente	Capacité du réservoir le plus grand (t)	Distance minimale de sécurité (m)	
Gaz de pétrole liquéfiés (propane, butane, etc.), stockés à une pression absolue supérieure à 1,4 bar	25- 40	300	
	41- 80	400	
	81-120	500	
	121-300	600	
	Plus de 300	1 000	
	25 ou plus, mais uniquement en bouteilles ou en petits réservoirs jusqu' à 5 t	100	
Gaz de pétrole liquéfiés (propane, butane, etc.), stockés sous réfrigération à une pression absolue de 1,4 bar ou moins	50 ou plus	1 000	
Phosgène	2 ou plus	1 000	
Chlore	10-100	1 000	
	Plus de 100	1 500	
Acide fluorhydrique	10 ou plus	1 000	
Trioxyde de soufre	15 ou plus	1 000	
Acrylonitrile	20 ou plus	250	
Cyanure d'hydrogène	20 ou plus	1 000	
Sulfure de carbone	20 ou plus	250	
Nitrate d'ammonium et mélanges de nitrate d'ammonium dont la teneur en azote due au nitrate d'ammonium dépasse 28% en poids	500 ou plus	Voir la note en fin de tableau	
Oxygène liquide	500 ou plus	500	
Dioxyde de soufre	20 ou plus	1 000	
Brome	40 ou plus	600	
Ammoniac (anhydre ou en solution contenant plus de 50% d'ammoniac en poids)	Plus de 100	1 000	
Hydrogène	2 ou plus	500	
Oxyde d'éthylène	5- 25	500	
	Plus de 25	1 000	
Oxyde de propylène			
	stocké à la pression atmosphérique	5 ou plus	250
	stocké sous pression	5- 25	500
	Plus de 25	1 000	
Isocyanate de méthyle	1	1 000	

**Tableau 8.1. Distances minimales de sécurité préconisées pour les établissements à hauts risques (suite)**

Substance présente	Capacité du réservoir le plus grand (t)	Distance minimale de sécurité (m)
Catégories de substances non désignées spécifiquement		
1. Gaz ou mélange de gaz inflammable dans l'air et présent dans l'installation sous forme gazeuse (sauf les réservoirs basse pression)	15 ou plus	500
2. Substance ou mélange de substances inflammable dans l'air et stocké normalement au-dessus du point d'ébullition (mesuré à la pression absolue de 1 bar) sous forme liquide ou sous forme de mélange liquide/gaz à une pression absolue supérieure à 1,4 bar	25- 40	300
	41- 80	400
	81- 120	500
	121-300	600
	Plus de 300	1 000
	25 ou plus, mais uniquement en bouteilles ou en petits réservoirs jusqu'à 5 t	1 000
3. Gaz liquéfié ou mélange de gaz liquéfiés inflammable dans l'air, ayant un point d'ébullition inférieur à 0°C (mesuré à la pression absolue de 1 bar), stocké normalement sous réfrigération ou refroidissement à une pression absolue de 1,4 bar ou moins	50 ou plus	1 000
4. Liquide ou mélange de liquides non compris dans les catégories 1 à 3 ci-dessus et ayant un point d'éclair inférieur à 21°C	10 000 ou plus	250

Note: Pour le nitrate d'ammonium en sacs stocké en piles ne dépassant pas 300 t, une distance de 600 m est appropriée. S'il s'agit de nitrate d'ammonium en vrac, la distance sera donnée par la formule:

$$600 \left\{ \frac{\text{quantité stockée (t)}}{300} \right\}^{1/3}$$





