

RAPPORT D'ÉTUDE
N° DRA-14-141532-11390C

27/02/2015

DRA71 – opération A2

**Guide pour la rédaction des études de
dangers des installations de réfrigération
à l'ammoniac**

DRA71 – opération A2
**Guide pour la rédaction des études de dangers des
installations de réfrigération à l'ammoniac**

Verneuil en Halatte (60)

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Valérie DE DIANOUS, Sophie HUBIN, Olivier GENTILHOMME

PREAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification		Approbation
NOM	Valérie DE DIANOUS Sophie HUBIN Olivier GENTILHOMME	Christophe BOLVIN Stéphane DUPLANTIER	Guillaume CHANTELAUVE	Sylvain CHAUMETTE
Qualité	Ingénieurs Unité Evaluation Quantitative des Risques (EQRI) Unité Démarche Intégrée d'Analyse et de Gestion des Risques (DIAG) Unité Dispersion- Incendie – Expérimentation - Modélisation (DIEM) Direction des Risques Accidentels	Responsable Unité EQRI Responsable du Pôle Phénomènes Dangereux et Résistance des Structures Direction des Risques Accidentels	Délégué Appui à l'Administration Direction des Risques Accidentels	Responsable du Pôle Analyse et Gestion Intégrée des Risques Direction des Risques Accidentels
Visa				

SOMMAIRE

PRESENTATION DU GUIDE	7
A- Contexte du guide.....	7
B- Limites du guide.....	8
C- Utilisation du guide.....	9

TRAME TYPE DE L'ETUDE DE DANGERS

1. INTRODUCTION ET CONTEXTE DE L'ETUDE.....	11
1.1 Introduction.....	11
1.2 Contexte	11
2. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ETABLISSEMENT.....	13
2.1 Localisation du site	13
2.2 Description de l'environnement de l'installation.....	13
2.3 Environnement naturel.....	14
2.4 Environnement matériel	15
3. DESCRIPTION DE L'ETABLISSEMENT.....	17
3.1 Principales productions et activités	17
3.2 Description des utilités	17
3.3 Organisation de l'établissement	17
3.4 Description de l'organisation de la sécurité du site.....	18
4. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE REFRIGERATION.....	19
4.1 Implantation des installations	19
4.2 Equipements constituant l'installation.....	20
4.3 Autres données de fonctionnement.....	22
4.4 Liste des bonnes pratiques et des mesures de sécurité en prévention.....	22
4.5 Les locaux et zones d'implantation	30
5. POTENTIELS DE DANGERS.....	33
5.1 Potentiels de dangers liés aux produits.....	33
5.2 Potentiels de dangers liés au procédé	35
5.3 Cartographie des potentiels de dangers.....	36
5.4 Justification des potentiels de dangers.....	36
6. RETOUR D'EXPERIENCE	37

6.1	Analyse générale de l'accidentologie.....	37
6.2	Accidentologie de l'installation.....	38
7.	ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES.....	39
7.1	Causes externes	39
7.2	Causes internes liées au procédé.....	44
7.3	Phénomènes dangereux retenus au terme de l'APR	47
8.	CARACTERISATION DE L'INTENSITE DES PHENOMENES DANGEREUX.....	51
8.1	Sélection des phénomènes dangereux à modéliser.....	51
8.2	Principales hypothèses de modélisation	53
8.3	Intensité des phénomènes dangereux.....	54
9.	CARACTERISATION DE LA GRAVITE DES ACCIDENTS POTENTIELS.....	57
9.1	Grille d'évaluation de la gravité.....	57
9.2	Comptage des personnes pour évaluation de la gravité	58
10.	CARACTERISATION DES PROBABILITES D'OCCURRENCE.....	59
10.1	Classes des probabilités d'occurrence.....	59
10.2	Détermination des probabilités d'occurrence des PhD de dispersion toxique	60
10.3	Evaluation des probabilités d'occurrence des explosions en zone confinée	64
10.4	Présentation des probabilités des phénomènes dangereux et des accidents majeurs	65
11.	CARACTERISATION DE LA CINETIQUE DES EVENEMENTS.....	67
12.	EFFETS DOMINOS.....	69
12.1	Effets dominos issus de la réfrigération à l'ammoniac	69
12.2	Effets dominos issus d'autres installations.....	69
13.	BILAN DES PHENOMENES DANGEREUX ET DES ACCIDENTS MAJEURS.....	71
13.1	Tableau de synthèse des phénomènes dangereux et accidents majeurs	71
13.2	Positionnement des accidents dans la matrice des risques	72
13.3	Phénomènes dangereux pour le Porter à Connaissance.....	73
14.	RESUME NON TECHNIQUE ET CARTOGRAPHIES DES EFFETS	75
14.1	Résumé non technique.....	75
14.2	Cartographies des effets	80
15.	REFERENCES.....	81
16.	LISTE DES ANNEXES.....	83

GLOSSAIRE

AFF	Association Française du Froid
APR	Analyse Préliminaire de Risques
BARPI	Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels
BP	Basse Pression
EDD	Etude De Dangers
ERC	Evènement Redouté Central
ERP	Etablissement Recevant du Public
HP	Haute Pression
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
MMR	Mesure de Maîtrise des Risques
MP	Moyenne Pression
NC	Niveau de Confiance
PhD	Phénomène Dangereux
PPRT	Plan de Prévention des Risques Technologiques
SEI	Seuil des Effets Irréversibles
SEL	Seuil des Effets Létaux
SELS	Seuil des Effets Létaux Significatifs
SIL	Safety Integrity Level
TMD	Transport de Marchandises Dangereuses
USNEF	Union Syndicale Nationale des Exploitations Frigorifiques

PRESENTATION DU GUIDE

A- Contexte du guide

Le présent rapport est développé dans le cadre du programme d'appui technique EAT-DRA71 (« Evaluation des risques des Systèmes industriels ») dont un des objectifs est l'amélioration de la maîtrise des risques et des pollutions liés aux activités industrielles. Les réflexions menées sur la proportionnalité dans les études de dangers ont conduit à la volonté de rédiger des guides visant à faciliter la rédaction ou l'instruction des études de dangers pour des secteurs d'activité jugés suffisamment génériques.

Le présent rapport s'inscrit dans ce cadre. Le secteur retenu dans ce rapport est celui des réfrigérations fonctionnant avec l'ammoniac comme fluide frigorigène.

Un 1^{er} objectif du document est de fournir des éléments pour **faciliter la réalisation des études de dangers et leur instruction**, en présentant notamment des informations sur l'état de l'art, les phénomènes dangereux et accidents majeurs à considérer, les distances d'effets types, les probabilités types des événements.... Les différents volets de l'étude de dangers pourront s'appuyer sur des éléments développés dans le guide.

Un 2^{ème} objectif est d'améliorer la maîtrise du risque à la source. Aussi, le guide comporte des informations sur les bonnes pratiques de conception et de maîtrise de risque en intégrant les volets organisationnels et techniques. **Ces informations visent à faciliter la mise en œuvre et l'inspection de ces mesures.**

Ce document a été réalisé par l'INERIS avec le concours de l'Association Française du Froid (AFF), l'Union Syndicale Nationale des Exploitations Frigorifiques (USNEF) et le Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels (BARPI) du ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. Ce guide s'appuie notamment sur :

- les informations communiquées par l'AFF (<http://www.association-francaise-du-froid.fr/>) et l'USNEF (<http://www.usnef.fr/>) ;
- des informations communiquées par le BARPI ;
- les connaissances de l'INERIS issues de la réalisation d'études de dangers et tierces expertises ;
- une étude bibliographique.

B- Limites du guide

Le guide est rédigé en vue de faciliter la rédaction et/ou l'instruction des études de dangers. **Le champ des installations concernées est donc celui des installations soumises à autorisation : il s'agit des installations contenant une quantité d'ammoniac strictement supérieure à 1,5 tonne.**

Il n'est pas applicable aux installations soumises à autorisation avec servitudes ainsi qu'aux installations Seveso Seuil Bas relevant de l'arrêté du 10 mai 2000.

Pour les modélisations, une quantité maximale d'ammoniac (3,5 tonnes) a été retenue permettant de couvrir une grande majorité des installations (plus de 90% des installations selon l'AFF et l'USNEF). Cependant les autres chapitres de ce guide restent applicables aux installations de plus de 3,5 tonnes.

Le guide focalise sur la partie de l'installation contenant de l'ammoniac. Dans le cas de systèmes mixtes comportant de l'ammoniac et un autre fluide frigorigène, les risques induits par cet autre fluide doivent être étudiés par ailleurs.

Les installations décrites couvrent les installations de réfrigération pour des utilisateurs tels que des entreposages ou conservation de denrées, des installations de congélation et surgélation. Les pistes de patinoire ou de bobsleigh pourraient théoriquement entrer dans le champ mais l'ammoniac est de plus en plus remplacé par d'autres fluides. Les installations de réfrigération dans des usines chimiques (assurant par exemple la production de fluide froid pour le refroidissement des réacteurs) peuvent comporter des spécificités non couvertes par le guide.

C- Utilisation du guide

Une étude de dangers s'articule autour des différentes parties présentées dans le logigramme ci-dessous. Les éléments du logigramme sont à évaluer sur la base de l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005.

Les différentes parties de l'étude de dangers sont présentées dans les chapitres du présent guide :

- des parties sont destinées à être utilisées directement dans les EDD (écrites en noir).
- d'autres parties (écrites en bleu) apportent des éléments visant à guider le rédacteur de l'EDD. L'ensemble des conseils méthodologiques permettant une bonne compréhension de la trame type est indiqué en couleur et précédé du symbole ⓘ.
- les éléments à compléter par le porteur de projet dans la trame sont quant à eux indiqués en *couleur et en italique* dans le texte.
- Des renvois vers des annexes informatives, permettant une meilleure compréhension des installations et fournissant des éléments de comparaison et d'appréciation, sont indiqués en vert et précédés du symbole ☒.

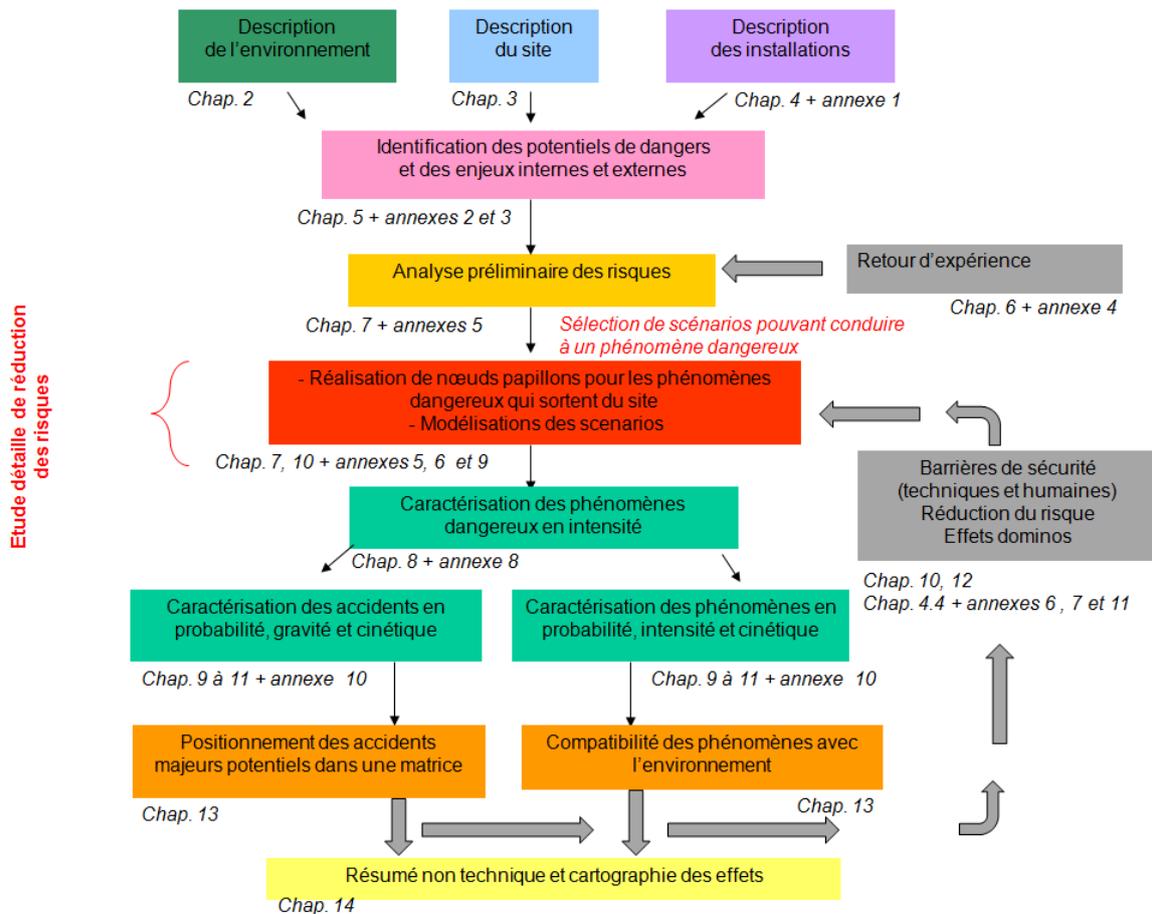


Figure 1 : Logigramme représentant l'articulation des différentes parties d'une étude de dangers

Le document est organisé ainsi :

- **Il présente une trame d'étude de dangers** : chaque partie est traitée dans un chapitre spécifique :
 - Chapitre 1 : introduction et contexte de l'étude
 - Chapitre 2 : description de l'environnement de l'établissement
 - Chapitre 3 : description de l'établissement
 - Chapitre 4 : description des installations de réfrigération
 - Chapitre 5 : identification des potentiels de dangers
 - Chapitre 6 : accidentologie
 - Chapitre 7 : analyse préliminaire des risques
 - Chapitre 8 : caractérisation de l'intensité des phénomènes dangereux
 - Chapitre 9 : caractérisation de la gravité des accidents potentiels
 - Chapitre 10 : caractérisation des probabilités d'occurrence
 - Chapitre 11 : caractérisation de la cinétique des événements
 - Chapitre 12 : effets dominos
 - Chapitre 13 : bilan des phénomènes dangereux et des accidents majeurs
 - Chapitre 14 : résumé non technique et cartographies des effets

L'étude de dangers de l'exploitant sera complétée par des annexes techniques.

- Il présente les **annexes informatives** suivantes :
 - Annexe 1 : Description des installations de réfrigération à l'ammoniac
 - Annexe 2 : Caractéristiques de l'ammoniac
 - Annexe 3 : Optimisation de la quantité d'ammoniac
 - Annexe 4 : Accidentologie des installations de réfrigération : synthèse et exemples d'accidents caractéristiques
 - Annexe 5 : Tableaux d'analyse préliminaire des risques / Arbres de défaillances génériques
 - Annexe 6 : Bonnes pratiques et mesures de sécurité : Rappel des exigences des textes réglementaires et de la norme NF EN 378
 - Annexe 7 : Evaluation des mesures de maîtrise des risques : Tableau de synthèse des évaluations
 - Annexe 8 : Caractérisation de l'intensité
 - Annexe 9 : Arbres d'événements génériques
 - Annexe 10 : Eléments de probabilité
 - Annexe 11 : Fiche d'inspection des détecteurs gaz.

1. INTRODUCTION ET CONTEXTE DE L'ETUDE

① Cette partie introductive de l'étude de dangers explique le contexte de l'étude et les principes généraux appliqués.

1.1 INTRODUCTION

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par *nom de l'exploitant* pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques de son installation de réfrigération située sur la (les) commune(s) de *nom de la (des) commune(s) d'implantation*, dans le département de *nom du département (XX)*, en région *nom de la région*.

L'installation est soumise à autorisation au titre des installations classées.

La présente étude est réalisée par *nom de la société réalisant l'étude*.

① L'étude de dangers précise dans quel cadre est réalisée l'étude : demande d'autorisation d'exploiter, mise à jour à la suite d'évolutions notables, demande spécifique de la DREAL... et si de précédentes études ont été réalisées

1.2 CONTEXTE

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du code de l'environnement relative aux installations classées. Selon l'article L512-1, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

La présente étude est réalisée conformément à l'article R512-9 et en respectant l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.

2. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ETABLISSEMENT

2.1 LOCALISATION DU SITE

L'installation de réfrigération de *nom de l'installation* est localisée sur la (les) commune(s) de *nom de la (des) commune(s) d'implantation*, dans le département de *nom du département (XX)*, en région *nom de la région*.

① Insérer ici une ou plusieurs cartes de localisation générale du site.

2.2 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

Ce chapitre a pour objectif de décrire l'environnement dans la zone d'étude de l'installation, afin d'identifier les principaux intérêts à protéger (enjeux) et les facteurs de risque que peut représenter l'environnement vis-à-vis de l'installation (agresseurs potentiels).

① Chacun des paragraphes détaillés ci-après est complété par le porteur de projet et adapté aux spécificités du site. En particulier, un certain nombre d'informations pourra être extrait de l'étude d'impact sur l'environnement tout en limitant les ajouts aux éléments pertinents pour l'étude de dangers afin d'éviter les redondances inutiles.

2.2.1 Environnement humain

2.2.1.1 Zones urbanisées

① L'étude de dangers s'intéresse aux populations situées dans la zone sur laquelle porte l'étude ou à proximité :

- distance aux habitations les plus proches ;
- distance aux zones urbanisables les plus proches ;
- nombre d'habitants dans les villages ou hameau les plus proches ;
- Etc.

2.2.2 Etablissements recevant du public (ERP)

① L'étude de dangers recense l'ensemble des ERP dans les limites de la zone d'étude. Ce paragraphe doit préciser également, si possible, les caractéristiques de chacun de ces ERP (distance par rapport à l'installation, capacité d'accueil, fréquentation, etc.).

2.2.3 Installations classées autour du site

① L'étude de dangers liste les activités autour du site (nom des établissements et activités). Elle précise la distance par rapport à l'installation, le nombre de personnes présentes.

2.2.4 Autres activités

① L'étude de dangers précise, le cas échéant, si d'autres activités, agricoles, commerciales, industrielles ou de loisir sont présentes dans les limites de la zone d'étude. En effet, ces activités peuvent constituer des enjeux par rapport à l'installation. Tous les éléments utiles pour caractériser ces activités (distances par rapport à l'installation, capacité d'accueil, ...) sont fournis dans ce paragraphe.

2.3 ENVIRONNEMENT NATUREL

2.3.1 Contexte climatique

① L'étude de dangers précise l'ensemble des informations nécessaires à l'appréciation des conditions climatiques et météorologiques du site :

- Températures (moyennes mensuelles, maximales et minimales, nombre de jours de gel, etc.)
- Précipitations (pluviométrie, nombre de jours de neige, nombre de jours de grêle, nombre de jours de brouillard, etc.)
- Vent (intensité, fréquence et direction des vents – rose des vents)

Ces informations pourront être issues des stations Météo France les plus proches et/ou de sources de données plus locales.

2.3.2 Risques naturels

① L'étude de dangers liste les différents risques naturels identifiés dans la zone d'étude. En effet, ces risques naturels sont susceptibles de constituer des agresseurs potentiels et sont donc pris en compte dans l'analyse préliminaire des risques.

- Sismicité (zone de sismicité selon les décrets n°2010-1254 et n°2010-1255 du 22 octobre 2010, base de données de l'intensité des séismes enregistrés sur la ou les commune(s) concernée(s), etc.)
- Inondations (recensement des crues et inondations enregistrées sur la ou les commune(s) concernée(s), zone inondable ou non, etc.)

- Foudre (niveau kéraunique Nk^1 – nombre de jours par an où le tonnerre a été entendu sur le site – et densité de foudroiement² sur la ou les commune(s) concernée(s), comparaison avec les valeurs moyennes nationales)
- Mouvements de terrain (commune soumise aux aléas glissement de terrain, existence de cavités souterraines ou de risques miniers, etc.)
- Aléa retrait-gonflement des argiles
- Tempêtes (recensement des principaux événements de vents forts enregistrés sur le site)
- Cyclones (zones intertropicales uniquement)
- Incendies de forêts et de cultures (recensement des principaux événements et risques enregistrés sur le site)
- Etc.

2.3.3 Faune et flore

① L'étude de dangers identifie les zones naturelles protégées (ZNIEFF, ZICO...). Le site internet de l'INPN (Inventaire National du patrimoine Naturel) (<http://inpn.mnhn.fr/accueil/index>) ou le site géoportail (<http://www.geoportail.gouv.fr/accueil>) peuvent être consultés.

2.4 ENVIRONNEMENT MATERIEL

2.4.1 Voies de communication

① L'étude de dangers identifie l'ensemble des réseaux de communication présents dans les limites de la zone d'étude :

- Transport routier (routes, autoroutes, etc.)
- Transport ferroviaire (voies de chemin de fer, gares, passages à niveau, etc.)
- Transport fluvial (cours d'eau navigables, canaux, écluses, etc.)
- Transport aérien (aéroports ou aérodromes, servitudes aéronautiques civiles et militaires, etc.)

Pour chacune des voies de communication identifiée dans la zone d'étude, il est précisé la distance minimale par rapport à l'installation, ainsi que, si possible, le type de transport et le trafic journalier (données généralement disponibles auprès des DDT / DDTM ou des gestionnaires de réseaux de transport). Une distinction sera faite entre les routes structurantes (trafic supérieur à 2000 véhicules par jour) et les routes non structurantes.

¹ Nombre de jours d'orage en un endroit donné. En France, le niveau kéraunique s'échelonne de 5 à 35 selon les régions.

² Nombre de coups de foudre par km² et par an.

2.4.2 Réseaux publics et privés

① L'étude de dangers recense les principales installations publiques non enterrées présentes dans les limites de la zone d'étude :

- Transport d'électricité (lignes électriques haute et très haute tension, postes électriques)
- Canalisations de transport (gaz combustibles, hydrocarbures liquides ou liquéfiés et produits chimiques)
- Réseaux d'assainissement (stations d'épuration)
- Réseaux d'alimentation en eau potable (captages AEP, zones de protection des captages)
- Etc.

2.4.3 Autres ouvrages publics

① Si d'autres ouvrages sont situés dans la zone d'étude, ils sont listés le cas échéant dans ce paragraphe (barrages, digues, châteaux d'eau, bassins de rétention, monument classé...).

2.4.4 Cartographie de synthèse

① Une cartographie présente la position des différents enjeux (humains et faune et flore) autour du site, à une échelle adaptée. Elle permet d'identifier géographiquement les enjeux à protéger dans la zone d'étude et les sources potentielles d'agressions.

3. DESCRIPTION DE L'ETABLISSEMENT

Ce chapitre présente brièvement l'établissement et son organisation.

3.1 PRINCIPALES PRODUCTIONS ET ACTIVITES

La société *nom de la société* s'est implantée sur le site en *date de création*.

① L'étude de dangers présente un bref historique des installations, en précisant clairement qui est l'exploitant actuel, la liste des installations actuelles sur le site.

L'activité du site est *description succincte de l'activité*.

Le site est composé des principales installations :

- Les installations de réfrigération à l'ammoniac,
 - ① l'étude liste les autres installations (chaufferie, local incendie, ateliers...).
- ① Un plan général du site positionne les différentes activités et les éventuelles interactions notamment avec les installations de réfrigération.

3.2 DESCRIPTION DES UTILITES

Les principales utilités présentes sur le site sont :

- L'électricité,
- ① l'étude liste les autres utilités du site (azote, gaz naturel, air comprimé...).

3.3 ORGANISATION DE L'ETABLISSEMENT

3.3.1 Effectif – horaires

Le site emploie *nombre de personnes*.

① L'étude précise quand les personnes sont présentes sur le site et le mode de fonctionnement du site (nombre de jours travaillés par semaine, par an).

3.3.2 Surveillance du site

① L'étude précise si un poste de garde existe, avec un gardien présent en permanence, y compris pendant les périodes de fermeture du site. Sa fonction peut être d'assurer la prévention des intrusions et d'assurer une télésurveillance pouvant servir à déclencher une intervention en cas d'incident.

Le site est clôturé en limite de propriété.

3.4 DESCRIPTION DE L'ORGANISATION DE LA SECURITE DU SITE

① Ce chapitre explique l'organisation de la sécurité, en indiquant :

- qui assure la fonction sécurité environnement,
- si des POI existent,
- si des formations sécurité sont mises en œuvre,
- la nature et les moyens de secours,
- etc...

4. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE REFRIGERATION

Ce chapitre a pour objectif de caractériser l'installation envisagée afin de permettre d'identifier les principaux potentiels de danger qu'elle représente, au regard notamment de la sensibilité de l'environnement décrit précédemment.

Il est rappelé que le champ de l'étude est restreint aux installations de réfrigération à l'ammoniac.

① La description des installations permet la compréhension du fonctionnement des installations. Elle peut s'appuyer sur des schémas de principe. Elle comporte toutes les informations servant de base aux autres parties de l'étude de dangers (analyse de risques, caractérisation en intensité, évaluation des MMR...). Cette partie descriptive de l'étude de dangers comporte une(des) carte(s) de localisation des installations, des équipements sensibles (autres unités à risques avec effets dominos, salle de contrôle...).

⊗ L'annexe 1 rappelle le principe de fonctionnement des installations. Certains éléments pourront être repris dans l'étude de dangers.

① Le site peut comporter plusieurs installations de réfrigération (correspondant à des localisations différentes, des niveaux de froid différents...). Chaque installation est décrite séparément. Un tableau de synthèse pourra être présenté.

4.1 IMPLANTATION DES INSTALLATIONS

L'installation de réfrigération se répartit sur *nombre de zones* zones distinctes :

① L'exploitant liste les zones où se situent des installations d'ammoniac. Par exemple, il peut s'agir de :

- la salle des machines dans laquelle se trouve le système frigorifique ;
- une terrasse sur laquelle se situe(nt) le(s) condenseur(s) ;
- les locaux dans lesquels cheminent les tuyauteries d'ammoniac :
 - Locaux de froid (utilisateurs) dans lesquels se situe(nt) le(s) évaporateur(s).
 - Les combles techniques dans lesquels cheminent les tuyauteries
 - Les tuyauteries circulant à l'extérieur et reliant la salle des machines aux locaux techniques ;
 - Etc...

Un exemple de tableau (à adapter par l'exploitant) est proposé page suivante pour identifier les équipements pour chaque installation de réfrigération selon les zones :

	extérieur	salle des machines	utilisateurs	gaines techniques
tuyauteries et vannes	Oui	Oui (incluant les équipements tels que pompes, compresseurs, détendeurs)	Oui	Oui
capacités	Oui (condenseur)	Oui (réservoirs + évaporateur et condenseur selon les configurations)	Oui (évaporateur)	Non
bouteilles ou fûts	En phase de transfert uniquement	Oui (contenants éventuels stockés généralement en salle des machines)	Non (pas de bouteilles stockées chez les utilisateurs)	Non
soupapes	Oui	Non (pas de rejet à l'intérieur)	Non (pas de rejet à l'intérieur)	Non

① L'exploitant présente une carte du site positionnant les différentes zones et les équipements.

4.2 EQUIPEMENTS CONSTITUANT L'INSTALLATION

Les installations comportent les équipements suivants :

- ① L'exploitant liste les équipements et tuyauteries constituant l'installation.
- ① Il présente un schéma de principe des installations.

Les caractéristiques des équipements sont les suivantes :

① Il précise les caractéristiques des équipements et tuyauteries (pression et température nominale, tenue à la pression, diamètres, longueurs de tuyauteries, technologies, capacités, ...). Il peut utiliser un tableau récapitulatif (cf. modèle page suivante) :

	Température nominale (°C)	Pression nominale (bar eff)	Pression maxi admissible (bar eff)	Diamètre de tuyauterie (mm)	Longueur de tuyauterie (m)	Technologie	Capacité ammoniac (kg)
Compresseur				/	/		
Tuyauteries gaz HP						/	
Condenseur				/	/		
Tuyauterie liquide HP						/	
Ballon HP				/	/	/	
Sous-partie HP							Quantité ammoniac HP
Détente HP/MP				/	/		
Tuyauteries liquide MP						/	
Tuyauterie gaz MP						/	
Ballon MP				/	/	/	
Sous-partie MP							Quantité ammoniac MP
Détente MP/BP				/	/		
Tuyauterie liquide BP						/	
Ballon BP				/	/	/	
Pompe BP				/	/		
Tuyauterie gaz BP						/	
Sous-partie BP dans salle des machines							Quantité ammoniac BP
Tuyauterie BP vers évaporateur						/	
Évaporateur				/	/		
Sous-partie BP vers utilisateurs / gaines techniques							Quantité ammoniac BP

☒ L'annexe 1 décrit pour information les différents équipements constitutifs (principes, technologies, sécurités...).

On note que :

- La quantité totale d'ammoniac est *quantité* tonnes ;
- ☒ Pour information, des ratios types de masse d'ammoniac par puissance frigorifique figurent en annexe 1.
- ☒ Pour information, des ratios types de quantités d'ammoniac dans les parties HP, MP et BP sont présentés en annexe 1.

- le système est *direct ou indirect* ;
- le condenseur est situé *à l'extérieur (en terrasse) ou dans la salle des machines* ;
- les tuyauteries BP cheminent *à l'extérieur ou dans des combles techniques*.

Les éléments de sécurité associés sont décrits dans le paragraphe 4.4.

4.3 AUTRES DONNEES DE FONCTIONNEMENT

4.3.1 Rechargement d'ammoniac

Les opérations usuelles d'exploitation des installations (vidange d'huile tous les 15 jours à 1 mois, purge des incondensables³, nettoyage des filtres à huile des compresseurs...) conduisent à des opérations de rechargement d'ammoniac sur les installations.

Le taux de rechargement constaté sur l'installation est de *masse d'ammoniac* / an, soit *pourcentage* % de la quantité maximale d'ammoniac présente dans l'installation.

☒ Pour information, des taux de rechargement types figurent en annexe 1.

4.3.2 Débits d'ammoniac dans le circuit HP et BP

Le débit dans la partie HP du système est déterminé par le débit du compresseur. Ce débit est de *débit* kg/s.

Le débit dans la partie BP du système est déterminé par le débit des pompes de circulation à l'aval des bouteilles BP. Ce débit est de *débit* kg/s.

☒ Pour information, des débits usuels figurent en annexe 1.

4.4 LISTE DES BONNES PRATIQUES ET DES MESURES DE SECURITE EN PREVENTION

☒ L'annexe 6 précise pour chacune des mesures indiquées dans ce paragraphe les exigences réglementaires (textes et articles associés) et les mesures indicatives ou obligatoires issues des normes. Il est rappelé que la norme NF EN 378 n'est pas obligatoire dans sa totalité. L'arrêté du 16 juillet 1997 demande que la salle des machines soit conforme aux normes en vigueur (article 3) et que le seuil de déclenchement de la détection ammoniac soit conforme aux normes en vigueur (article 42).

³ Les incondensables résultent de l'entrée d'air dans le circuit, lorsque la pression côté utilisateur est inférieure à la pression atmosphérique.

4.4.1 **Bonnes pratiques de prévention**

① L'exploitant liste les bonnes pratiques en place sur son site. La liste ci-dessous est à compléter le cas échéant. La liste constitue un minimum réglementaire ou normatif. Le numéro de mesure indiqué entre parenthèse renvoie au tableau récapitulatif des mesures et aux tableaux d'APR du chapitre 7.2.1.2.

Des bonnes pratiques sont mises en œuvre sur le site qui agissent en prévention des accidents :

- Formation des responsables et intervenants :
 - exploitation sous la responsabilité d'une personne nommément désignée ;
 - intervention sur les appareils à pression par des personnes formées ;
 - formation au risque ammoniac de toutes les personnes intervenant sur les installations ;
 - sensibilisation de tout le personnel de l'entreprise et des sous-traitants sur les risques de l'ammoniac ;
 - exercices réguliers d'intervention et de conduite en marche dégradée.

- Connaissance de la quantité d'ammoniac dans l'installation (circuit ou en réserve) : un registre à jour existe précisant les mouvements d'ammoniac.

- Existence de procédures et consignes opératoires (*mesure n°1*) :
 - procédures de conduite de l'installation incluant les phases spécifiques (purges d'huile, vidange ou remplissage de l'installation, remplacement de flexibles...)
 - procédures sur les contrôles à effectuer au cours des différentes phases (marche normale, mise à l'arrêt, remise en service après arrêt...) incluant les contrôles des dispositifs de sécurité ;
 - procédures de travaux par point chaud ;
 - procédures de contrôle des installations électriques ;
 - **procédures encadrant l'entreposage des bouteilles, la surveillance du local technique par un employé travaillant seul** ;
 - ① Ces dernières procédures ne présentent pas de caractère normatif ou réglementaire.

- Vérifications réglementaires par une personne compétente (*mesure n°2*) et faisant l'objet d'un compte-rendu ; ces vérifications sont réalisées au moins une fois par an (inspection annuelle), avant la première mise en service ou à la suite d'un arrêt prolongé (vérification). En particulier, l'état des tuyauteries fait l'objet de contrôles réguliers, tracés avec une attention particulière sur les points singuliers (piquages secondaires, manchons, coudes, passages dans les murs). Le calorifuge doit également être contrôlé (aspect, pose...). L'étanchéité des réservoirs est également contrôlée.

4.4.2 Mesures de sécurité en prévention

① L'exploitant liste les mesures de sécurité agissant en prévention des accidents. La liste ci-dessous est à compléter le cas échéant. La liste constitue un minimum réglementaire ou normatif exception faite des mesures clairement indiquées comme n'étant pas issues d'exigences réglementaires ou normatives. L'exploitant précise les mesures existantes et les mesures nouvelles éventuellement prévues.

Des mesures de sécurité sont mises en œuvre agissant en prévention ou limitation des effets d'un accident :

- Limitation de la montée en pression (mesure n°3) :
 - prévention des montées en pression :
 - l'installation est conçue pour limiter les montées en pression, notamment par l'éloignement avec de potentielles sources chaudes ;
 - montée en température en sortie de compresseur : pour mémoire, le compresseur est équipé de systèmes de régulation et de contrôle qui évitent une température excessive au refoulement du compresseur mais il ne s'agit pas de mesures de sécurité (Cf. chapitre 4.4.7).
 - pressostat à l'aval du(des) compresseur(s) ;
 - soupapes de sécurité équipant les capacités et toute partie d'installation contenant de l'ammoniac liquide pouvant être isolée en phase normale.

- Prévention des effets des vibrations (mesure n°4) : les compresseurs volumétriques présents dans l'installation sont susceptibles d'engendrer des vibrations pouvant conduire à des fuites en cas de vibrations excessives.

① L'exploitant précise les mesures en place. Il peut s'agir d'une étude préalable des vibrations et de contrôles réguliers de vibrations sur les équipements motorisés (au moins une fois tous les trois ans).

- Prévention des coups de liquide (ou coups de bélier) (mesure n°5) au niveau des tuyauteries et en amont des compresseurs (indicateur de niveau sur les ballons BP et MP et dispositif anti coup de liquide est également requis en amont des compresseurs)

- Prévention des chocs et bris mécaniques (mesure n°6) : les tuyauteries ou les organes sensibles (vannes de purges, fûts de transvasement...) sont protégés des chocs par gardes métalliques ou murs de rétention, ou par une installation en hauteur et des bris mécaniques par des supports rapprochés et résistants.

- Prévention de la corrosion (mesure n°7) : Les tuyauteries sont conçues avec les matériaux et revêtements adaptés en respectant les réglementations (équipements sous pression, compresseurs...). Des vérifications réglementaires doivent aussi avoir lieu régulièrement (cf. 4.4.1).

- Prévention des fuites sur des organes ou des tuyauteries (mesure n°8) :
 - Obturation des sorties directes de vannes à l'atmosphère ;
 - Systèmes pour faire face aux dilatations et contractions des tuyauteries ;
 - Protection des flexibles contre les dommages mécaniques, les contraintes excessives par torsion ou par d'autres forces et contrôles réguliers (inspection visuelle).
 - Surveillance de la pompe BP vis-à-vis des risques de cavitation et de fonctionnement à vide.
 - ① L'exploitant valide aussi le type de pompes utilisées (pompes avec moteur hermétique ou des pompes avec double étanchéité) qui présentent moins de risques de fuites que des pompes avec garniture simple.

- Prévention de l'échauffement du moteur (mesure n°9) : pour mémoire, l'installation est équipée de systèmes de conduite et de commande en prévention de l'échauffement du moteur mais il ne s'agit pas de mesures de sécurité (cf. chapitre 4.4.7).
 - ① Cette mesure ne correspond pas à une exigence réglementaire ou normative.

- Prévention des erreurs sur intervention (mesure n°10) (opérations de purges, transvasement...) :
 - Consignes d'intervention écrites (cf. 4.4.1) ;
 - Formation du personnel intervenant (cf. 4.4.1) ;
 - Repérage adaptée des équipements (tuyauteries et vannes) ;
 - Pour les purges d'huile :
 - existence de deux vannes dont une à contrepoids ou une seule vanne cumulant les deux fonctions d'arrêt automatique et d'arrêt manuel
 - ① L'exploitant précise le système retenu.
 - Consignes s'appuyant sur les instructions du fabricant
 - Pour les transvasements (remplissage ou vidange d'installation) :
 - Consignes d'intervention écrites ;
 - Utilisation de flexibles contrôlés régulièrement, stockés de manière à prévenir leur détérioration et ré-évalués ou changés régulièrement ;
 - Clapet anti-retour côté installation évitant le retour d'ammoniac depuis l'installation ;
 - Utilisation de fûts adaptés, répondant à la réglementation des équipements sous pression ;
 - Entreposage des bouteilles ou fûts dans des zones protégées ;
 - ① L'exploitant précise si les fûts ou containers sont stockés dans la salle des machines.

- Prévention de la dépression (mesure n°11) : pour mémoire, l'installation est équipée de systèmes de conduite et de commande en prévention de la dépression mais il ne s'agit pas de mesures de sécurité (cf. chapitre 4.4.7).

① Cette mesure ne correspond pas à une exigence réglementaire ou normative.

- Prévention des effets des incendies :

- Prévention des propagations d'incendie (mesure n°12) par des locaux en matériaux adaptés et avec des contraintes d'étanchéité sur les portes et passages de gaines et tuyauteries ;
- Prévention des départs de feu dans la salle des machines (mesure n°13) par des mesures telles que permis de feu, interdiction de fumer.... Les locaux sont aussi régulièrement nettoyés et le stockage de matières inflammables autres que celles utiles à l'installation (huile en quantité aussi réduite que possible) n'est pas autorisé dans la salle des machines ;
- Limitation des effets d'un incendie (mesure n°14) :
 - Détection : les installations (salle des machines, utilisateurs) sont équipées de détecteurs incendie. En cas de déclenchement, une alarme sonore et lumineuse est actionnée pour intervention éventuelle ;
 - Moyens de lutte contre l'incendie : des dispositifs d'extinction manuels sont installés ;
 - Intervention : des exutoires de fumées à commandes automatique et manuelle sont installés en partie haute de la salle des machines, avec des commandes manuelles situées à l'extérieur de la salle des machines, près des accès.

L'ensemble de ces mesures font l'objet de vérifications périodiques (entretiens et tests par un technicien qualifié).

- Prévention du surremplissage des réservoirs (mesure n°15) : cf. prévention des coups de liquide.

① L'exploitant précise si le ballon BP est dimensionné pour recueillir la totalité de l'ammoniac et si le surremplissage des autres réservoirs est possible (pas de vanne en aval).

4.4.3 Tableau de synthèse des mesures de prévention

Le tableau ci-dessous récapitule les mesures (bonnes pratiques et mesures de sécurité) en prévention identifiées précédemment.

Ces mesures sont reprises ensuite dans les tableaux d'analyse de risques (cf. § 7.2.1.2).

⊗ Il est rappelé que l'annexe 6 précise pour chacune des mesures indiquées les exigences réglementaires (textes et articles associés) et les mesures indicatives ou obligatoires issues des normes. Il est rappelé que la norme NF EN 378 n'est pas obligatoire dans sa totalité. L'arrêté du 16 juillet 1997 demande que la salle des machines soit conforme aux normes en vigueur (article 3) et que le seuil de déclenchement de la détection ammoniac soit conforme aux normes en vigueur (article 42).

Numérotation des mesures	Intitulé général des bonnes pratiques et des mesures de sécurité en prévention
1	Procédures de conduite et d'exploitation de l'installation
2	Vérifications réglementaires
3	Limitation de la montée en pression
4	Prévention des effets des vibrations
5	Prévention des coups de liquide
6	Prévention des chocs et bris mécaniques
7	Prévention de la corrosion
8	Prévention des fuites sur les organes ou tuyauteries
9	Prévention de l'échauffement excessif du moteur
10	Prévention des erreurs sur interventions
11	Prévention de la dépression
12	Prévention des propagations d'incendie
13	Prévention des départs de feu dans la salle des machines
14	Limitation des effets d'un incendie
15	Prévention du surremplissage
16	Prévention des effets des causes naturelles
17	Prévention des effets des causes externes non naturelles

Tableau 1 : Liste des bonnes pratiques et mesures de sécurité identifiées dans l'APR et les nœuds-papillons

Note : les mesures n°16 et n°17 relatives aux causes externes sont traitées dans les chapitres 7.1.2 et 7.1.3.

4.4.4 Mesures de protection / limitation vis-à-vis de la fuite toxique

① L'exploitant liste les mesures de sécurité agissant en protection ou en limitation des effets. La liste ci-dessous est à compléter le cas échéant. L'exploitant précise les mesures existantes et les mesures nouvelles éventuellement prévues.

☒ L'annexe 6 précise pour chacune des fonctions indiquées dans ce paragraphe les exigences réglementaires (textes et articles associés) et les mesures indicatives ou obligatoires issues des normes.

Les fonctions de sécurité suivantes sont mises en œuvre sur l'installation :

- **Réduction du temps de fuite** : la barrière est constituée des éléments suivants :
 - Détection de fuite :
 - détection gaz essentiellement (du fait de l'absence de personnel dans la salle des machines en marche normale) ;
 - détection humaine mais avec un temps de réponse plus important qui dépend de différents facteurs (taux de présence des personnes, mode de surveillance de la salle des machines ou des autres parties d'installations...) ; l'action sur des boutons d'arrêt d'urgence (BAU) permet de déclencher les actions de sécurité.
 - Action :
 - Arrêt des installations qui se traduit par l'arrêt du compresseur et par l'arrêt de la pompe BP, sauf si la fuite se produit sur le circuit BP, hors de la salle des machines, auquel cas le compresseur est maintenu en service pour éviter une montée en pression ;
 - Isolement par fermeture de vannes *automatiques ou manuelles*.
① L'exploitant valide si des vannes d'isolement automatiques sont présentes. Les installations sont en effet rarement équipées de vannes automatiques, sauf en aval de la pompe BP sur de grosses installations. L'isolement nécessite alors une intervention manuelle dans la salle des machines.
- **Réduction des effets par mise en route de l'extraction** : la barrière est constituée des éléments suivants :
 - Détection de fuite : comme précédemment ;
 - Action : mise en route de l'extraction d'urgence qui se fait :
 - automatiquement sur détection gaz ;
 - manuellement par action sur un bouton (indépendant de celui arrêtant les installations).
- **Protection et mise à l'abri des personnes** : la barrière est constituée par la détection de fuite (cf. ci-dessus) et l'action nécessite le lancement, par une personne responsable, du plan d'urgence avec protection des personnes. Cette barrière n'est pas retenue dans le cadre de l'étude de dangers car elle fait intervenir des moyens externes à la société pour la protection des personnes à l'extérieur du site.

4.4.5 Mesures de protection / limitation vis-à-vis de l'explosion

☒ L'annexe 6 précise pour chacune des fonctions indiquées dans ce paragraphe les exigences réglementaires (textes et articles associés) et les mesures indicatives ou obligatoires issues des normes.

La prévention de l'inflammation d'un nuage d'ammoniac est assurée par :

- Prévention des inflammations : des mesures sont prises pour prévenir les sources d'inflammation (permis de feu, interdiction de fumer...).
- La conception adaptée des installations électriques et leur contrôle régulier par des personnes compétentes ;
- La définition des zones ATEX : les mesures prises sur la salle des machines (détection, ventilation, arrêt des alimentations électriques...) permettent de ne pas classer la salle des machines en zone à risque ATEX
- L'arrêt des installations électriques en cas de fuite d'ammoniac dans un local ; l'arrêt de toutes les alimentations électriques est assurée, sauf celles alimentant les sécurités évitant la persistance de l'ATEX (ventilations, détections gaz). Les autres sécurités potentielles (isolement éventuel, sécurités de niveau sur les capacités, sécurités de pression haute sur les compresseurs...) doivent être de conception à sécurité positive et mettre ainsi le système en position de sécurité.
- Exigences ATEX sur l'extracteur d'urgence : le moteur *est placé en dehors du flux (ne nécessitant ainsi pas de conception ATEX) ou est de conception ATEX*. Le ventilateur évite également la formation d'étincelles.

① L'exploitant valide l'option retenue pour le moteur de l'extracteur.

① Note : le risque d'explosion d'une salle des machines est très faible. De ce fait des mesures de sécurité de type « événements d'explosion » ne sont pas à considérer pour ce type d'installations, dès lors que les mesures de prévention usuelles listées ci-dessus sont mises en œuvre.

4.4.6 Mesures de protection / limitation vis-à-vis de la pollution

☒ L'annexe 6 précise pour chacune des fonctions indiquées dans ce paragraphe les exigences réglementaires (textes et articles associés) et les mesures indicatives ou obligatoires issues des normes.

La salle des machines est conçue pour faire office de rétention. Ainsi, le seuil de la salle des machines est surélevé pour que le sol fasse office de rétention.

La rétention est correctement dimensionnée (vis-à-vis des capacités et résistance aux substances pouvant se déverser...).

Les matières incompatibles ne sont pas stockées dans une même rétention.

① L'exploitant précise les dispositions prévues pour assurer le recueil de potentielles fuites au niveau des tuyauteries externes à la salle des machines (tuyauteries de liaison des utilisateurs).

4.4.7 Systèmes de régulation et de contrôle

Les installations de réfrigération à l'ammoniac comportent également des systèmes de régulation et de contrôle qui ne sont pas considérés comme des mesures de maîtrise des risques.

- Prévention des coups de liquide : niveau haut sur bouteille BP ou MP ;
- Prévention des dépressions sur bouteilles BP et MP ;
 - Pressostat (pression basse) sur bouteille BP ou MP ;
 - Pressostat (pression basse) sur compresseur ;
- Prévention de l'échauffement excessif du moteur :
 - relais thermique : Il a pour rôle d'arrêter le compresseur en cas de surintensité du moteur électrique (réglage suivant puissance pour compresseur BP et réglage d'aspiration pour compresseur HP) ;
 - Thermostat d'huile : il a pour rôle d'interdire le démarrage du compresseur si la température d'huile est insuffisante pour assurer une bonne lubrification ;
 - Pressostat différentiel d'huile : le pressostat arrête le compresseur en cas d'écart de pression faible entre la pression d'aspiration d'huile et la pression au refoulement ;
- Prévention excès de température au refoulement du compresseur : thermostat de refoulement : il a pour rôle d'arrêter le compresseur en cas de température au refoulement trop élevée ;
- Prévention de la cavitation de la pompe : pressostat de pompe BP : Il a pour rôle d'éviter la cavitation de la pompe ; il arrête la pompe si la pression différentielle entre le refoulement et l'aspiration est trop faible.

Tous ces organes sont régulièrement contrôlés pour en vérifier le bon fonctionnement.

4.5 LES LOCAUX ET ZONES D'IMPLANTATION

Ce chapitre présente les caractéristiques des locaux et zones d'implantation.

4.5.1 Salle des machines

① L'exploitant décrit la salle des machines selon la trame proposée ci-dessous qui sera adaptée à chaque étude.

L'installation de réfrigération est implantée dans une salle des machines dédiée, avec restriction d'accès aux personnes autorisées.

La salle des machines répond aux exigences de conception définies dans les normes relatives aux systèmes de réfrigération et pompes à chaleur (chapitre 5 de la norme NF EN 378-3).

Les dimensions de la salle des machines sont :

	Dimensions
Surface	surface (m ²)
Hauteur	hauteur (m)
Volume	volume (m ³)

Tableau 2 : Dimensions de la salle des machines

La salle des machines est équipée d'une détection gaz, d'une ventilation mécanique d'urgence (extraction forcée) rejetant en hauteur via une conduite d'extraction.

La salle des machines est conforme aux exigences du chapitre 5 de la norme NF EN 378-3 concernant notamment le caractère coupe-feu des parois. Les prescriptions sont reprises dans l'annexe 6 sur les bonnes pratiques et les mesures de sécurité. Une ventilation de base (ventilation normale) permet d'assurer l'évacuation des déperditions thermiques émises par les installations.

Les caractéristiques sont les suivantes :

	Caractéristiques
Diamètre gaine d'extraction	Diamètre (cm)
Hauteur du rejet	Hauteur du rejet (m)
Rejet	vertical
Position du rejet	Position
Débit d'extraction forcée	Débit (kg/s)
Débit de ventilation normale	Débit (kg/s)

Tableau 3 : Caractéristiques de la ventilation

4.5.2 Plateforme de condensation

① Si des installations d'ammoniac sont installées sur une plateforme de condensation (qui peut être une terrasse), l'exploitant en apporte une brève description selon la trame proposée ci-dessous qui sera adaptée à chaque étude.

Le condenseur est implanté à l'extérieur de la salle des machines. Il est installé en *préciser le lieu d'implantation*, ce qui le met à l'abri des chocs éventuels de véhicules.

La localisation par rapport à la salle des machines permet de minimiser les longueurs de tuyauteries.

La plateforme est située à une hauteur de *hauteur/sol* m.

A noter que les tours aéroréfrigérantes sont installées également en terrasse.

4.5.3 Chambre froide, surgélateur...

① L'exploitant apporte une brève description des installations assurant les besoins de froid, selon la trame proposée ci-dessous qui sera adaptée à chaque étude.

Les utilisateurs sont situés dans des locaux à l'extérieur de la salle des machines. Selon que le système est direct ou indirect, l'ammoniac peut être présent au niveau des utilisateurs.

Des personnes sont susceptibles d'être présentes de manière prolongée dans les locaux. Lorsque l'ammoniac est présent au niveau des échangeurs « utilisateurs », des détecteurs de type toximétrie sont présents.

Pour réduire le risque de fuite, les vannes sont situées dans les combles ou galeries techniques situées au dessus des utilisateurs.

Certains utilisateurs utilisent des flexibles (surgélateurs à plaques).

4.5.4 Combles et/ou galeries techniques

Les tuyauteries assurant la liaison entre la salle des machines et les utilisateurs cheminent dans des combles et/ou des galeries techniques. Dans le cas de systèmes indirects, l'ammoniac est alors présent dans ces tuyauteries.

Les combles sont usuellement ventilés pour éviter l'accumulation d'ammoniac et disposent de détecteurs d'ammoniac à proximité des stations de vannes.

5. POTENTIELS DE DANGERS

Ce chapitre de l'étude de dangers a pour objectif de mettre en évidence les éléments de l'installation pouvant constituer un danger potentiel. Le danger peut être lié aux caractéristiques des substances, aux conditions de fonctionnement, etc...

5.1 POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PRODUITS

5.1.1 Les risques liés à l'ammoniac

L'ammoniac est l'un des principaux fluides frigorigènes industriels.

Il est classé comme gaz toxique et inflammable. Il est très corrosif pour la peau, les muqueuses et les yeux. Au contact de la peau, l'ammoniac liquéfié provoque des gelures.

Il est classé aussi en dangereux pour l'environnement.

☒ L'annexe 2 apporte des compléments sur les propriétés de l'ammoniac.

5.1.1.1 Propriétés

L'ammoniac présente les caractéristiques suivantes :

Nom	Ammoniac anhydre
Formule chimique	NH ₃
Masse molaire	17,03 g
Point de fusion =	- 77,7°C
Point d'ébullition =	-33,4°C à 1,013 bar
Masse volumique en phase gazeuse	0,772 kg/m ³ à 0°C 0,610 kg/m ³ à 20°C
Masse volumique en phase liquide	634 kg/m ³ à 0°C 607 kg/m ³ à 20°C

Tableau 4 : Généralités sur l'ammoniac

Dans les conditions normales de température et de pression (c'est-à-dire à 25°C et à 1,013 bar), l'ammoniac se trouve à l'état gazeux. Il est incolore, plus léger que l'air et son odeur est vive.

5.1.1.2 Toxicité aiguë

La fiche de toxicité aiguë de l'INERIS (cf. annexe 2) fournit les valeurs suivantes (cf. Tableau 5) :

	Temps (min)					
	1	3	10	20	30	60
Seuil des effets létaux significatifs (SELS)						
mg/m3	19623	ND	6183	4387	3593	2543
ppm	28033	ND	8833	6267	5133	3633
Seuil des premiers effets létaux (SEL)						
mg/m3	17710	10290	5740	4083	3337	2380
ppm	25300	14700	8200	5833	4767	3400
Seuil des effets irréversibles (SEI)						
mg/m3	1050	700	606	428	350	248
ppm	1500	1000	866	612	500	354
Seuil des effets réversibles (SER)						
mg/m3	196	140	105	84	77	56
ppm	280	200	150	120	110	80
Seuil olfactif	≈ 5					
ppm						

Tableau 5 : Seuils de toxicité aiguë pour l'ammoniac [INERIS]

5.1.1.3 Inflammabilité

L'ammoniac est classé inflammable. Cependant l'allumage de mélange ammoniac – air est difficile mais, s'il se produit dans un espace confiné, il peut entraîner une explosion.

Les limites d'explosivité généralement admises pour l'ammoniac sont :

- limite inférieure d'explosivité (ou LIE) égale à 16% v/v ;
- limite supérieure d'explosivité (ou LSE) à 25% v/v⁴.

Toutefois, une étude indique que la LIE peut être réduite de 4% v/v pour un aérosol d'huile et d'ammoniac comme, par exemple, dans le cas d'une fuite simultanée de lubrifiant.

⁴ Fiche toxicologique n°16 de l'INRS

La température d'auto-inflammation est de 650°C.

L'énergie minimale d'inflammation peut varier de quelques dizaines à plusieurs centaines de mJ.

5.1.1.4 *Dangers pour l'environnement*

L'ammoniac est dangereux pour l'environnement. Il est très toxique pour les organismes aquatiques.

5.1.1.5 *Réactions dangereuses et précautions d'emploi*

L'ammoniac réagit violemment avec certains halogènes, certains acides, certains métaux lourds et avec de nombreux oxydes et peroxydes.

En présence d'humidité, l'ammoniac attaque rapidement certains métaux (cuivre et zinc notamment). Les équipements contenant de l'ammoniac sont construits en acier carbone, non sujet à la corrosion par l'ammoniac.

A température ordinaire, l'ammoniac gazeux est un composé stable. Sa dissociation en hydrogène et en azote ne commence que vers 450 – 500°C. En présence de certains métaux comme le fer, le nickel, l'osmium, le zinc, l'uranium, cette décomposition commence dès la température de 300°C et est presque complète vers 500 à 600°C.

5.1.2 **Autres produits**

① Si d'autres substances dangereuses sont présentes, elles devront être traitées dans l'étude de dangers. Il peut s'agir d'autres fluides frigorigènes, des huiles de refroidissement des compresseurs, etc...

5.2 **POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AU PROCÉDE**

L'identification des dangers liés aux procédés tient compte :

- des différentes catégories de dangers présentés par les produits présents,
- des différents équipements et machines et de leurs dangers associés (pièces tournantes, huile sous pression, etc.),
- des conditions opératoires d'utilisation et de mise en œuvre,
- des conditions de fonctionnement.

Le tableau suivant présente une identification des dangers liés aux procédés obtenue sur la base d'un travail préalable aux analyses de risques. Les événements redoutés sont bien évidemment les pertes de confinement de l'ammoniac.

Equipement	Conditions opératoires	Evénement redouté
Réservoirs, capacités	Phases de stockage, de transfert, de remplissage	Fuite du produit (petite ou massive)
Echangeurs	Phase de fonctionnement	Risque de fuite (petite ou massive)
Tuyauteries	Phase de fonctionnement	Risque de fuite (petite ou massive)
Compresseur	Phase de fonctionnement	Risque d'éclatement et fuite

5.3 CARTOGRAPHIE DES POTENTIELS DE DANGERS

① L'étude de dangers présente une carte localisant les potentiels de dangers (utilisateurs, salle des machines, points de rejet, cheminement des tuyauteries vers les utilisateurs...).

5.4 JUSTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS

Ce chapitre explique les choix qui ont été effectués au cours de la conception du projet pour réduire les potentiels de danger identifiés et garantir une sécurité optimale de l'installation.

① L'étude de dangers devra justifier ici les choix techniques effectués par l'exploitant selon les axes suivants :

- Justification du potentiel de dangers :
 - Justification de la quantité d'ammoniac utilisée ;
 - Justification des diamètres, pressions et quantités.
- Réduction du risque à la source : justification de la position des équipements.
- Mesures de sécurité existantes ou potentiellement prévues.

☒ L'annexe 3 apporte des pistes de réduction du risque qui peuvent guider l'exploitant dans sa volonté de réduction du risque ou guider l'inspecteur dans l'analyse des mesures identifiées par l'exploitant.

① L'étude de dangers met en évidence que les bonnes pratiques en vigueur sont respectées ainsi que les exigences réglementaires et les normes.

6. RETOUR D'EXPERIENCE

Ce chapitre présente une synthèse de l'accidentologie. Cette synthèse alimente notamment l'analyse des risques.

☒ L'annexe 4 présente des informations plus détaillées sur l'accidentologie.

Ce chapitre est organisé en deux parties :

- Analyse générale des accidents en France et à l'étranger ;
- Analyse de l'installation.

6.1 ANALYSE GENERALE DE L'ACCIDENTOLOGIE

① L'exploitant réalise une synthèse de l'accidentologie. Il pourra choisir de cibler la période d'observations sur les années postérieures à 1997 (date de l'arrêt ministériel) ou de faire l'analyse sur une période plus importante. L'analyse en France est nécessaire et pourra être utilement complétée par une analyse à l'étranger afin d'identifier les cas d'explosion de nuage d'ammoniac.

L'analyse de l'accidentologie a été effectuée sur la base ARIA en ciblant la recherche sur les années *année de départ à année de fin d'analyse*. La recherche a été faite en France et à l'étranger en ciblant les seules installations de réfrigération à l'ammoniac.

Il ressort de l'accidentologie que des rejets d'ammoniac sont possibles conduisant essentiellement à des rejets toxiques (gazeux et liquides). Les rejets ont conduit dans quelques cas à des morts (employés de l'installation de réfrigération).

De manière exceptionnelle, l'explosion suite à une fuite d'ammoniac a été relevée.

Des incendies sont notés affectant souvent des stockages connexes (partie entrepôts) sans lien direct avec les installations de réfrigération, sauf pour quelques incendies en salle des machines.

L'analyse de l'accidentologie conduit à retenir les scénarios suivants dans l'analyse préliminaire des risques :

- Perte de confinement sur les réservoirs et les équipements (condenseurs, évaporateurs...);
- Perte de confinement sur les tuyauteries (rupture guillotine ou fuite); les équipements peuvent être dans la salle des machines ou à l'extérieur de la salle des machines (liaisons vers les utilisateurs) ;
- Rupture de bouteilles d'ammoniac ou de fûts ;
- Fuite au niveau de flexible de raccordement en phase d'appoint ;
- Fuite par les soupapes ;
- Fuite au niveau des purges ;
- Explosion dans un local confiné (salle des machines, combles, utilisateurs...).

Note : L'incendie dans la salle des machines ou à l'extérieur de la salle des machines est à retenir comme un évènement initiateur possible.

6.2 ACCIDENTOLOGIE DE L'INSTALLATION

Les accidents ou incidents relevés sur l'installation ou dans le groupe industriel depuis *année de démarrage de l'installation* sont les suivants :

① L'exploitant décrit les incidents et accidents s'étant produits sur le site, en précisant les mesures qui se sont révélées efficaces ou au contraire inefficaces et en indiquant les mesures compensatoires prises depuis ces événements.

7. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accident majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarios de se produire ou en limitent les effets.

Il existe deux types de causes qui sont étudiées successivement dans la présente étude :

- les causes externes (naturelles ou liées à l'activité humaine) ;
- les causes internes liées au procédé.

7.1 CAUSES EXTERNES

7.1.1 Causes exclues de l'étude de dangers

① Plusieurs événements initiateurs peuvent être exclus de l'analyse préliminaire des risques, soit parce que ces exclusions sont prévues dans la circulaire du 10 mai 2010 relative à la méthodologie applicable aux études de dangers des établissements Seveso, soit parce que les conséquences de cet événement seront largement supérieures aux conséquences de l'accident qu'il entraînerait sur l'installation de réfrigération.

Les événements initiateurs (ou agressions externes) suivants sont exclus de l'analyse des risques :

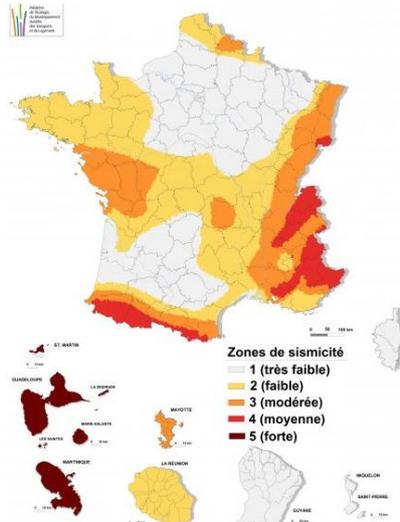
- chute de météorite ;
- séisme d'amplitude supérieure aux séismes maximums de référence éventuellement corrigés de facteurs, tels que définis par la réglementation applicable aux installations classées considérées ;
- crues d'amplitude supérieure à la crue de référence, selon les règles en vigueur ;
- événements climatiques d'intensité supérieure aux événements historiquement connus ou prévisibles pouvant affecter l'installation, selon les règles en vigueur ;
- chute d'avion hors des zones de proximité d'aéroport ou aérodrome (rayon de 2 km des aéroports et aérodromes) ;
- rupture de barrage de classe A ou B au sens de l'article R.214-112 du Code de l'environnement ou d'une digue de classe A, B ou C au sens de l'article R. 214-113 du même code ;
- actes de malveillance.

7.1.2 Causes génériques d'origine naturelle

① Les causes d'agressions d'origine naturelle (hors que celles explicitement exclues dans le chapitre précédent) doivent être étudiées dans l'étude de dangers.

Les causes d'agressions d'origine naturelle suivantes sont traitées dans les paragraphes suivants.

7.1.2.1 Séisme



L'installation se situe dans la zone sismique *catégorie de zone sismique*, conformément au décret du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français.

L'installation de réfrigération à l'ammoniac ne présente pas un « risque spécial » (au sens de l'arrêté du 24 janvier 2011).

① Si l'installation se situait dans un établissement Seveso, elle serait à risque spécial.

Elle rentre dans la catégorie du « risque normal ». Le « risque normal » prend en compte deux types d'installations :

- **Les bâtiments** : conformément à l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal » :
 - ① L'exploitant précise les exigences selon que l'installation est nouvelle ou existante :
 - pour une installation existante, il n'existe pas de prescriptions ;
 - pour une nouvelle installation, il faut respecter les exigences définies dans l'arrêté. La salle des machines constitue un espace inoccupé ; les locaux utilisateurs constituent des espaces occupés.
- **Les installations industrielles** (tuyauteries, réservoirs...l'ammoniac étant classé en catégorie II ou III selon la quantité mise en œuvre). Conformément au projet d'arrêté en cours de consultation : qui devrait aboutir sur les règles suivantes :
 - ① L'exploitant précise les exigences selon que l'installation est nouvelle ou existante :
 - pour une installation existante, il n'existe pas de prescriptions;
 - pour une nouvelle installation, il faut respecter les exigences définies dans l'arrêté.

⇒ Le respect des réglementations en vigueur permet de ne pas retenir la cause « séisme » dans l'évaluation de la probabilité des phénomènes dangereux potentiels (pour l'acceptabilité du risque et la maîtrise de l'urbanisation).

① Si l'installation est existante, aucune étude n'est requise.

① Pour une nouvelle installation, le respect des exigences doit être démontré (étude spécifique en parallèle à l'étude de dangers). L'exploitant doit préciser dans l'étude de dangers que cette étude sera menée.

7.1.2.2 Neige et Vent

Les installations sont dimensionnées, sur la base des conditions météorologiques, par rapport aux normes en vigueur.

① L'exploitant précise les normes correspondantes. Il peut s'agir des règles suivantes :

- Règles NV 65/99 modifiée (DTU P 06 002) et N 84/95 modifiée (DTU P 06 006) ;
- NF EN 1991-1-3 : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-3 : actions générales - Charges de neige. (avril 2004) ;
- NF EN 1991-1-4 : Eurocode 1 : actions sur les structures - Partie 1-4 : actions générales - Actions du vent. (novembre 2005)

A défaut du respect de ces règles, l'exploitant démontre le respect de règles équivalentes.

⇒ Le respect des réglementations en vigueur permet de ne pas retenir la cause « neige et vents » dans l'évaluation de la probabilité des phénomènes dangereux potentiels (pour l'acceptabilité du risque et la maîtrise de l'urbanisation).

① L'exploitant précise les références de l'étude permettant de justifier le respect des réglementations.

7.1.2.3 Foudre

L'arrêté du 4 octobre 2010 relatif à la protection contre la foudre de certaines installations classées a remplacé les arrêtés des 15 janvier 2008 et 28 janvier 1993.

Nom de l'organisme compétent a réalisé une analyse du risque foudre (ARF) en *date (référence de l'étude)*. Les mesures préconisées ont été mises en œuvre à ce jour. La maintenance et le suivi des installations sont réalisés régulièrement.

⇒ Le respect des réglementations en vigueur permet de ne pas retenir la cause « foudre » dans l'évaluation de la probabilité des phénomènes dangereux potentiels (pour l'acceptabilité du risque et la maîtrise de l'urbanisation).

7.1.2.4 Inondation

① L'exploitant doit mener une analyse qualitative pour déterminer les équipements pouvant être touchés et les conséquences éventuelles. L'industriel devra présenter les mesures en place et s'interroger sur les moyens d'alerte en cas de crue, les moyens de protections possibles (surélévation, barrages temporaires, mise en sécurité des installations...). On veillera à vérifier que la cinétique de mise en œuvre des mesures est compatible avec celle du phénomène de crue (rapidité de la crue, temps pour alerter les exploitants...).

Pour information, la circulaire du 10 mai 2010 (applicable uniquement aux établissements Seveso) précise qu'il faut prévoir un « dimensionnement des installations pour leur protection contre la crue de référence (telle par exemple que définie à ce jour dans le guide plan de prévention des risques inondations (PPRi) du MEDDE). Une attention particulière sera portée aux effets indirects (renversement de cuves, perte d'alimentation électrique, effet de percussion par des objets dérivants). ».

⇒ Du fait des mesures mises en œuvre par l'exploitant, la cause « inondations » peut ne pas être retenue dans l'évaluation de la probabilité des phénomènes dangereux potentiels (pour l'acceptabilité du risque et la maîtrise de l'urbanisation).

7.1.2.5 Autres causes d'origine naturelle

① D'autres causes peuvent être recherchées en fonction du contexte local. Il peut s'agir de mouvement de terrain, de volcans, d'avalanches, de feux de forêt... Une étude au cas par cas est alors à mener en fonction du risque évalué (cf. chapitre 2.3.2).

7.1.3 Causes liées à l'activité humaine

7.1.3.1 Chute d'avion

① La circulaire du 10 mai 2010 précise que la chute d'avion n'est pas retenue « hors des zones de proximité des aéroports ou aérodrome, c'est-à-dire à plus de 2000 m de tout point des pistes de décollage et d'atterrissage. ». Selon la position du site, la chute d'avion sera ou non retenue. L'étude de dangers conclut donc sur la prise en compte de la chute d'avion comme cause d'agression externe.

Si l'installation se situe à moins de 2000 m d'un aérodrome, la chute d'avion doit être évaluée en probabilité d'occurrence. La chute d'avion sera prise en compte pour coter la probabilité des pertes de confinement des équipements (réservoirs, tuyauterie...). La probabilité est évaluée en tenant compte du trafic de l'aérodrome, des probabilités génériques de chute d'avion (avion commercial, avion militaire, aviation générale⁵), de la surface de l'installation, de la position de l'installation par rapport à la piste de décollage et d'atterrissage (pondération de la probabilité si l'installation n'est pas située dans l'axe des pistes).

① Pour des sites à proximité des aéroports ou aérodromes, en lien avec la circulaire du 10 mai 2010, on pourra exclure de la maîtrise de l'urbanisation « la chute d'aéronefs de plus de 5,7 tonnes lorsque le nombre de mouvements est inférieur à 1250 / an. » Cependant, le scénario associé doit être maintenu pour les règles d'acceptabilité.

7.1.3.2 Effets dominos – effets d'installations voisines

① L'étude de dangers évalue au cas par cas si des effets dominos peuvent atteindre l'installation (chaufferie gaz à proximité, entreposage de matériaux combustibles, installations de transfert, autres installations classées situées dans l'environnement du site...). Les installations voisines doivent être analysées en vue d'identifier des causes d'agressions potentielles (rupture possible d'une canalisation d'eau de gros diamètre sous forte pression par exemple...).

Si nécessaire, des mesures de protection seront mises en œuvre (événements d'explosion sur les locaux adjacents...).

7.1.3.3 Travaux

Les travaux et interventions sur l'installation font l'objet de procédures spécifiques. Des plans de prévention et des permis spécifiques sont mis en œuvre incluant, le cas échéant, des permis de feu, des consignations / déconsignations....

Les travaux sont retenus comme cause possible d'agression, sauf dans le cas des interventions sur les « gros potentiels » constitués par les réservoirs (cf. annexe 5).

⁵ Les probabilités de chute d'avion, issues de l'ouvrage « Elément pour la sécurité nucléaire » de Jacques Libmann, paru en 1997, sont de $10^{-12}/m^2$ et par an pour l'aviation commerciale (composée d'avions de transport de passagers de fret, d'avions postaux soit des avions supérieurs à 5,7 t), de $10^{-11}/m^2$ et par an pour l'aviation militaire et de $10^{-10}/m^2$ et par an pour l'aviation générale (avions inférieurs à 5,7 tonnes).

7.1.3.4 TMD extérieurs au site

① La circulaire du 10 mai 2010 précise, pour des établissements Seveso, qu'une analyse qualitative doit permettre dévaluer le risque (flux de véhicules, distances de la voie de circulation par rapport à l'installation, ordre de grandeur de l'intensité de l'agression...). Mais aucune évaluation quantitative n'est menée et la cause « TMD extérieur au site » n'est finalement pas pris en compte dans les évaluations de risque, que ce soit pour l'acceptabilité du risque, la maîtrise de l'urbanisation et le PPI. A fortiori pour une installation non Seveso, l'étude de dangers se limite à une description qualitative des TMD à l'extérieur du site.

Les voies de circulation (*voies concernées par du TMD*) autour du site peuvent assurer le transport de matières dangereuses (*lister éventuellement le type de TMD et le trafic*). Mais la cause TMD n'est pas retenue comme cause d'agression des installations de réfrigération à l'ammoniac.

7.1.3.5 TMD intérieur au site

① Les effets possibles sur l'installation de réfrigération liés au TMD dans le site sont en prendre en compte pour les engins mobiles aux postes de transferts ou sur des zones de stationnement. L'étude de dangers précise si de tels postes de transfert existent, ce qui n'est usuellement pas le cas des sites entrant dans le champ du présent guide. La possibilité de choc sur les installations en cas d'accident est à étudier.

7.1.3.6 Malveillance

① La probabilité de cette cause n'est pas évaluée dans l'étude de dangers. Néanmoins il faudra s'assurer que le site est conçu pour éviter l'accès de tiers : clôture tout autour du site, fermeture des installations aux personnes étrangères, salle des machines interdite aux personnes non autorisées. Les moyens de vidéo-surveillance seront précisés le cas échéant.

7.2 CAUSES INTERNES LIEES AU PROCEDE

7.2.1 Analyse préliminaire des risques

L'identification des scénarios d'accidents liés au procédé est réalisée au travers d'une analyse préliminaire des risques. Celle-ci consiste à :

- identifier de façon la plus exhaustive possible les phénomènes dangereux pouvant conduire à des accidents majeurs induits par différents scénarios identifiés lors de la mise en œuvre d'une méthode adaptée aux installations, conduite en groupe de travail ; la méthode est basée sur un questionnement systématique des causes et conséquences possibles des événements accidentels, ainsi que sur le retour d'expérience disponible ;

- lister les mesures de maîtrise des risques (techniques et/ou organisationnelles) de prévention et/ou de protection mises en place par l'industriel et agissant sur le scénario d'accident majeur identifié ; des propositions peuvent être faites concernant l'ajout ou la modification de mesures de maîtrise des risques ;
- coter les phénomènes dangereux identifiés en termes d'intensité. La grille de cotation en intensité utilisé en phase d'APR est présentée paragraphe suivant ;
- dresser une liste des phénomènes dangereux, sur la base des phénomènes pouvant avoir des distances d'effets hors du site ou conduire à des effets dominos sur les installations.
- hiérarchiser les phénomènes dangereux en fonction de leur intensité et de l'étendue possible de leurs conséquences pour sélectionner les phénomènes dangereux qui feront l'objet d'une modélisation ;
- coter éventuellement la probabilité d'apparition de chaque cause (en l'absence de mesures techniques ou organisationnelles de protection ou de prévention). La cotation des probabilités n'est pas faite systématiquement.

7.2.1.1 Déroulement et échelle de cotation utilisée

Les analyses préliminaires des risques (APR) sont réalisées en groupe de travail. Les personnes présentes dans le groupe sont : *nom et fonction des personnes ayant participé au groupe de travail.*

Les APR ont été réalisées le *date de réalisation des APR.*

① Les intensités des phénomènes dangereux sont évaluées au cours de l'APR par le groupe de travail, en tenant compte du retour d'expérience du groupe.

Au cours de l'APR, une évaluation a priori des intensités est réalisée. Pour les phénomènes dangereux retenus, une évaluation précise sera ensuite réalisée en effectuant des modélisations.

Les échelles adoptées au stade de l'APR sont les suivantes :

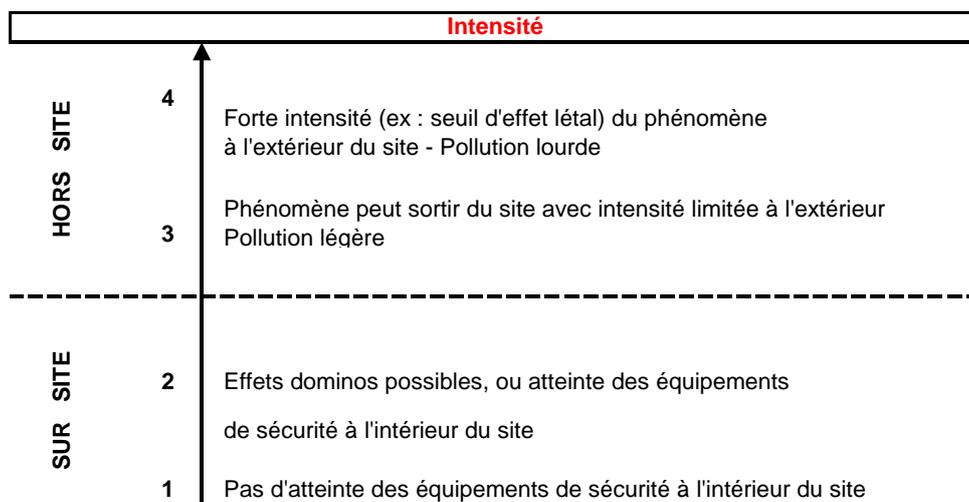


Tableau 6 : échelle des intensités adoptée dans l'APR

Les probabilités d'occurrence ne sont généralement pas évaluées dans le cadre de l'APR mais sont évaluées dans le cadre de l'analyse détaillée des risques pour les phénomènes dangereux retenus (intensité 3 et 4). Les échelles sont présentées § 10.1.

7.2.1.2 Tableaux d'APR

① L'objectif de cette partie est de guider le lecteur dans la réalisation de sa propre analyse de risque. Les outils d'analyse des risques sont nombreux (ex : AMDEC, APR, HAZOP, etc.). Le présent guide propose l'utilisation de la méthode APR qui est souple d'utilisation, adaptée et plus facile à mettre en œuvre et à instruire dans le contexte des installations de réfrigération à l'ammoniac.

① Les tableaux d'analyse des risques proposés dans ce document, en annexe 5, constituent une analyse générique pour les installations de réfrigération à l'ammoniac. Lors de la réalisation de son étude de dangers, l'exploitant vérifiera son applicabilité à son site et si nécessaire le complétera et/ou l'amendera. Il réalise un découpage des installations en différents secteurs qui sont étudiés successivement, en incluant les phases transitoires d'exploitation. Les tableaux seront préférentiellement mis en annexe de l'étude de dangers pour ne pas alourdir l'étude.

① L'exploitant analyse les conditions d'exclusion de certains scénarios d'accident (cf. tableaux).

① L'analyse peut être menée également à partir d'arbres des défaillances plutôt qu'à partir des tableaux d'APR. Des arbres des défaillances génériques, reprenant les causes génériques identifiées dans les tableaux sont présentés en annexe 5.

☒ Les arbres des causes génériques présentés en annexe 5 précisent si les causes envisagées sont issues de l'accidentologie, du guide de l'AFF... Ils peuvent être utilisés en complément ou à la place des tableaux d'analyse. Cependant, les conditions d'exclusion de scénarios ne sont détaillées que dans les tableaux.

Les tableaux d'analyse préliminaire des risques suivants sont présentés en annexe :

- Perte de confinement sur les réservoirs ;
- Perte de confinement sur les tuyauteries et accessoires associés ;
- Perte de confinement sur le compresseur et séparateur d'huile ;
- Perte de confinement sur le condenseur ;
- Perte de confinement sur l'évaporateur ;
- Perte de confinement en phase d'appoint ou de vidange, incluant les pertes de confinement sur les bouteilles et containers ;
- Perte de confinement sur les soupapes.

Enfin, une analyse des pertes d'utilités est effectuée.

Les phénomènes retenus au terme de l'analyse sont précisés au chapitre suivant.

7.3 PHENOMENES DANGEREUX RETENUS AU TERME DE L'APR

Les **événements redoutés centraux** retenus au terme de l'analyse des risques sont les suivants :

- **pertes de confinement sur les réservoirs** (dans la salle des machines) ; les tailles de brèche retenues sont la ruine et la « petite brèche » :
 - la ruine peut être due à des chocs, des effets dominos, des surpressions...
 - ① L'exploitant rappelle ici, le cas échéant, que la ruine des réservoirs n'est pas retenue au terme de l'analyse de risques.
 - la « brèche » peut correspondre à des chocs, des surpressions, des ouvertures de vannes sur l'équipement, etc....
 - ① L'exploitant rappelle ici, le cas échéant, que la perte de confinement en ras de paroi n'est pas retenue au terme de l'analyse de risques.

- **pertes de confinement sur les tuyauteries**, en dehors de la salle des machines et à l'extérieur de la salle des machines (terrasse, utilisateurs et/ou liaison vers utilisateurs) ; les fuites sont possibles en amont et en aval des équipements (compresseur, condenseur, évaporateur, pompe...). Les tailles de brèche retenues sont la rupture guillotine et la « brèche » :
 - la rupture guillotine peut être due à des chocs, des effets dominos, des surpressions, etc...
 - la « brèche » peut être due à des chocs, des surpressions, des ouvertures de vannes sur le circuit, de la corrosion, des vibrations, etc...
 - ① L'exploitant rappelle ici, le cas échéant, que la perte de confinement en ras de paroi au niveau d'un équipement (réservoir ou échangeur) n'est pas retenue au terme de l'analyse de risques.

- **pertes de confinement sur les échangeurs** (condenseurs, évaporateurs) : les tailles de brèche retenues sont la ruine et la « petite brèche » :
 - la ruine peut être due à des chocs, des effets dominos, des surpressions...
 - ① L'exploitant rappelle ici, le cas échéant, que la ruine des échangeurs n'est pas retenue au terme de l'analyse de risques.
 - la « brèche » peut correspondre à des chocs, des surpressions, des ouvertures de vannes sur l'équipement, etc....
 - ① L'exploitant rappelle ici, le cas échéant, que la perte de confinement en ras de paroi n'est pas retenue au terme de l'analyse de risques.

- **perte de confinement sur les compresseurs et séparateurs d'huile** : la ruine ou la brèche sur les compresseurs et séparateurs d'huile sont retenues en fonction des causes envisagées.

- **Perte de confinement au niveau de soupapes** ; deux situations sont retenues :
 - ouverture partielle de soupape (liée à des défaillances techniques ou des fonctionnements intempestifs) ;
 - pleine ouverture de soupape (liée à une surpression dans le réseau). La surpression pourra être maintenue ou de durée limitée selon la cause envisagée, conduisant potentiellement à un rejet de soupape de durée limitée.

- **Perte de confinement en phase d'appoint ou de vidange** : les tailles de brèche retenues sont la rupture guillotine et la brèche de flexible.

- **Perte de confinement sur les bouteilles ou containers d'appoint ou de vidange** ; les tailles de brèche retenues sont la ruine et la « brèche » :
 - la ruine peut être due à des chocs, des effets dominos, des surpressions...
 - ① L'exploitant rappelle ici, le cas échéant, que la ruine des réservoirs n'est pas retenue au terme de l'analyse de risques.
 - la « brèche » peut correspondre à des chocs, des surpressions, des ouvertures de vannes sur l'équipement, etc....
 - ① L'exploitant rappelle ici, le cas échéant, que la perte de confinement en ras de paroi n'est pas retenue au terme de l'analyse de risques.

① Il est supposé que les opérations d'appoint et de vidange mettent en œuvre des bouteilles et containers. En cas de remplissage par camions, les pertes de confinement sur le camion et les flexibles de raccordement sont à étudier spécifiquement dans l'étude de dangers.

Pour les différents événements redoutés centraux retenus, les **phénomènes dangereux retenus** sont :

- la dispersion toxique ;
- l'explosion en cas de rejet en zone confinée (salle des machines, combles ou chambres froides).

La pollution n'est pas retenue dans l'étude de dangers dans la mesure où la rétention dans la salle des machines permet de recueillir les éventuels épandages et car l'ammoniac est facilement biodégradable.

① La pollution en dehors de la salle des machines est retenue en l'absence de systèmes de recueil des effluents potentiels (fuites possibles sur des tuyauteries...). L'exploitant précise les dispositions prises pour assurer le recueil des fuites potentielles.

Note : d'autres événements sont susceptibles de se produire en cas de perte de confinement sur des échangeurs (pollution du réseau, contamination du circuit d'huile au niveau des réfrigérants d'huile). Mais ces événements ne conduisent pas à des accidents majeurs et ne sont pas retenus.

8. CARACTERISATION DE L'INTENSITE DES PHENOMENES DANGEREUX

Ce chapitre présente les principes d'évaluation des intensités des phénomènes dangereux et fournit les distances d'effet pour les phénomènes retenus dans l'étude de dangers.

Il s'articule en trois parties :

- Sélection des phénomènes dangereux à modéliser ;
- Principales hypothèses de modélisation ;
- Intensités des phénomènes dangereux modélisés.

8.1 SELECTION DES PHENOMENES DANGEREUX A MODELISER

L'analyse préliminaire des risques a identifié les phénomènes dangereux pouvant potentiellement avoir des effets à l'extérieur du site ou conduire à des effets dominos (cf. chapitre 7.3).

Parmi ces phénomènes, une sélection a été faite pour identifier ceux qui font l'objet d'une modélisation des effets.

❖ Famille de phénomènes par zone géographique

Les phénomènes ont été d'abord classés par « famille » **selon la localisation des équipements** : on distingue ainsi les pertes de confinement sur des équipements situés dans les zones et locaux différents.

La distinction s'appuie sur le fait que les effets peuvent être très différents, soit parce que le rejet se fait directement à l'extérieur, soit parce que les enjeux ne sont pas localisés de la même manière ou encore parce que les causes d'accident peuvent être différentes...

Les zones suivantes ont été étudiées successivement :

- extérieur (terrasse ou au sol) ;
- salle des machines ;
- utilisateurs (chambre froide, surgélateurs...) et/ou gaines techniques entre la salle des machines et les utilisateurs.

❖ Pour une localisation donnée : hiérarchisation des PhD

Pour chaque « famille » de phénomènes, on classe les phénomènes par intensité décroissante des effets. L'intensité dépend de la **phase** (liquide ou gaz), de la **pression** (HP, MP ou BP) et de la **quantité** pouvant être libérée.

On n'a retenu dans une même zone que les phénomènes majorants en intensité.

La hiérarchisation des effets s'appuie sur le tableau ci-dessous :

Caractéristiques du rejet	Effets relatifs attendus
HP liquéfié	Effets maximums
BP liquéfié	Effets importants
HP gaz	Effets modérés
BP gaz	Effets minimales

❖ Synthèse : phénomènes retenus pour modélisation

Les phénomènes dangereux suivants sont modélisés :

① Le tableau ci-dessous est à adapter par l'exploitant. En particulier, des fuites peuvent également être retenues au niveau des équipements ou tuyauteries si l'exploitant choisit de ne pas les inclure dans les pertes de confinement majeures (rupture guillotine ou ruine). Ce peut être le cas si la probabilité des phénomènes agrégés (rupture + fuite) était trop importante au regard de l'acceptabilité ou des contraintes de maîtrise de l'urbanisation.

Zone géographique	Événements redoutés retenus	Remarques
Extérieur	Rupture guillotine de la tuyauterie HP aval condenseur	Si la fuite en ras de paroi a été écartée, le rejet au niveau du collecteur de sortie de l'échangeur peut ne pas être retenu (cf. APR). La rupture guillotine de la tuyauterie en aval du collecteur est à considérer.
Salle des machines	Rupture guillotine de la tuyauterie HP en aval du condenseur	Le terme source peut être différent du précédent, du fait des pertes de charge. Si la détente HP/MP (ou HP/BP) est située à l'extérieur, ce phénomène est remplacé par la rupture guillotine de la tuyauterie MP (ou BP) à l'aval du condenseur. Des phénomènes avec fonctionnement et dysfonctionnement des barrières de protection peuvent être modélisés (extraction forcée, arrêt des installations).

Zone géographique	Evénements redoutés retenus	Remarques
Salle des machines	Perte de confinement sur la bouteille BP	<p>Il est difficile de conclure d'emblée sur la hiérarchisation des deux scénarios : perte de confinement sur la bouteille BP (non isolable et de forte capacité) et perte de confinement sur le liquide HP. La perte de confinement sur une bouteille BP peut conduire en effet à un rejet important dont les effets peuvent finalement être supérieurs à ceux d'une perte de confinement sur du HP liquéfié.</p> <p>La ruine du réservoir est généralement écartée des scénarios au terme de l'APR. C'est alors une brèche qui est modélisée.</p> <p>On retient la rupture guillotine sur la tuyauterie de départ BP vers les utilisateurs en excluant la fuite en ras de paroi (cf. APR).</p> <p>Pour la modélisation, sera retenu le cas majorant entre la perte de confinement à l'aval de la pompe BP ou en amont de la pompe BP.</p> <p>Des phénomènes avec fonctionnement et dysfonctionnement des barrières de protection peuvent être modélisés (extraction forcée, arrêt des installations).</p>
Utilisateurs Galeries techniques	Rupture guillotine de la tuyauterie BP liquide	Le cheminement des tuyauteries BP est étudié pour identifier les caractéristiques des locaux et zones traversées (combles..). A minima une analyse qualitative est requise. Des modélisations peuvent être envisagées

8.2 PRINCIPALES HYPOTHESES DE MODELISATION

Les principales hypothèses retenues pour l'évaluation des effets sont :

- Il est supposé que la ventilation normale mécanique est arrêtée en cas de fuite d'ammoniac ; lorsque le fonctionnement de l'extraction forcée est envisagé, il est supposé que le démarrage de la ventilation forcée s'effectue après *temps* secondes.
 - ① L'arrêt de la ventilation mécanique normale est commandé en cas de détection gaz dans la mesure où celle-ci n'est pas ATEX. Si la ventilation pouvait être maintenue en marche (équipement ATEX), il peut être retenue qu'elle n'est pas défaillante si elle est surveillée pour détecter d'éventuelles défaillances et pour mettre en œuvre des mesures correctives. Cette hypothèse sera à confirmer par l'exploitant.
- si elles sont prévues pour cela, les vannes d'air se ferment en cas de surpression dans le local ; des effets au sol par les interstices du local et/ou les vannes ont été considérés lorsque la fuite génère une surpression dans le local ;
 - ① Cette hypothèse de fermeture des vannes est à confirmer dans l'étude de dangers.
- le terme source est évalué en considérant des contributions amont et aval ; mais les vannes de détente, la pompe de circulation BP, le compresseur sont considérés comme des « clapets » anti-retour.
 - ① Cette hypothèse est à confirmer dans l'étude de dangers.

- la vidange des installations est considérée (pas d'isolement ou de d'arrêt des équipements) en cas de défaillance des barrières de limitation ; en cas de fonctionnement des barrières de limitation, les hypothèses retenues sont les suivantes :
 - l'arrêt des équipements (compresseurs et pompes) conduit à l'arrêt de la circulation des fluides ; le temps de réponse est le même que celui de démarrage de l'extraction forcée, soit *temps* secondes.
 - la fermeture des vannes automatiques s'effectue avec le même temps de réponse ; la fermeture des vannes manuelles, qui nécessiterait de s'équiper, n'est pas retenue dans l'étude.
- La durée d'exposition aux nuages toxiques correspond aux durées de persistance des nuages toxiques, qui dépendent du scénario envisagé. La durée maximale d'exposition retenue est de 1 heure.

8.3 INTENSITE DES PHENOMENES DANGEREUX

8.3.1 Seuils d'effets sur l'homme

Les seuils retenus sont définis par l'arrêté du 29 septembre 2005.

8.3.1.1 Effets toxiques

Les valeurs de référence de seuils d'effets toxiques pour l'homme, par inhalation, sont les suivantes :

- les seuils des effets irréversibles (SEI) délimitent la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine » ;
- les seuils des effets létaux (SEL) correspondant à une CL 1%⁶ délimitent la « zone des dangers graves pour la vie humaine » ;
- les seuils des effets létaux significatifs (SELS) correspondant à une CL 5% délimitent la « zone des dangers très graves pour la vie humaine ».

8.3.1.2 Effets de surpression

Les valeurs de référence sont les suivantes :

- seuil des effets indirects de surpression par bris de vitre : 20 mbar,
- seuil des effets irréversibles SEI : 50 mbar,
- seuil des premiers effets létaux SEL : 140 mbar,
- seuil des effets létaux significatifs SELS : 200 mbar.

⁶ CL 1% : Concentration létale supposée provoquer la mort de 1% de la population générale exposée pendant un temps d'exposition donné

8.3.2 Conditions météorologiques

La circulaire du 10 mai 2010 « récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 » indique que « les conditions (D,5) et (F,3) sont généralement retenues pour des rejets au niveau du sol ».

La première de ces conditions permet de représenter une situation courante (condition neutre et vitesse de vent de 5 m/s), la seconde permettant une évaluation des conséquences dans des conditions atmosphériques défavorables (conditions très stables et vitesse de 3 m/s) pour des rejets au niveau du sol.

Pour les rejets en hauteur, s'ajoutent à ces conditions météorologiques, les conditions (A,3), (B,3), (B,5), (C,5), (C,10), (D,10) et (E,3).

Stabilité atm.	-	A	B	B	C	C	D	D	E	F
Vitesse du vent	(m/s)	3	3	5	5	10	5	10	3	3
T° ambiante	(°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	15
T° du sol	(°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	15
Humidité relative	(%)	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Ray. solaire	(kW/m ²)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0

Tableau 7 : Conditions météorologiques génériques

8.3.3 Environnement

① Les paramètres intervenant dans les modélisations sont à adapter en fonction de l'environnement du site étudié. Par exemple, le texte ci-dessous pourra être adopté si les conditions sont adaptées.

Les rejets sont considérés en champ libre, le paramètre de rugosité choisi correspond à un site industriel. Le relief sur lequel est calculée la dispersion est considéré plat et uniforme.

8.3.4 Présentation des résultats

Le chapitre 13 présente des tableaux récapitulatifs des accidents majeurs et des phénomènes dangereux en explicitant les intensités, les gravités, les probabilités d'occurrence et la cinétique

Les cartographies sont présentées en annexe.

⊗ L'annexe 8 apporte des éléments méthodologiques et permet une lecture critique d'une étude en fournissant des courbes paramétrées de distances d'effets.

9. CARACTERISATION DE LA GRAVITE DES ACCIDENTS POTENTIELS

9.1 GRILLE D'EVALUATION DE LA GRAVITE

L'annexe III de l'Arrêté du 29 septembre 2005 (relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation) définit l'échelle d'appréciation de la gravité des conséquences humaines d'un accident à l'extérieur des installations.

Les seuils considérés sont :

- les seuils d'effets létaux significatifs (SELS),
- les seuils d'effets létaux (SEL),
- les seuils d'effets irréversibles (SEI),

(ne sont pas pris en compte pour l'estimation de la gravité les seuils correspondant aux bris de vitres et leurs effets).

Le tableau ci-dessous reprend l'échelle d'appréciation de la gravité défini dans l'Annexe III de l'Arrêté du 29 septembre 2005 :

Niveau de gravité des conséquences	SELS	SEL	SEI
Désastreux	Plus de 10 pers. exposées	Plus de 100 pers. exposées	Plus de 1000 pers. exposées
Catastrophique	Moins de 10 pers. exposées	Entre 10 et 100 pers. exposées	Entre 100 et 1000 pers. exposées
Important	Au plus 1 pers. exposée	Entre 1 et 10 pers. exposées	Entre 10 et 100 pers. exposées
Sérieux	Aucune pers. exposée	Au plus 1 pers. exposée	Moins de 10 pers. exposées
Modéré	Pas de zone de létalité hors de l'établissement		Présence humaine exposée à des Effets Irréversibles inférieure à 1 pers.

La gravité des conséquences est ainsi définie comme la combinaison de l'intensité des effets et de la vulnérabilité des populations situées dans les zones exposées à ces effets.

9.2 COMPTAGE DES PERSONNES POUR EVALUATION DE LA GRAVITE

Le comptage des personnes s'appuie sur les données de l'environnement du site étudié.

Les personnes présentes dans le cercle des effets (dans les habitations, les véhicules, les trains, les entreprises voisines, etc...) sont comptabilisées conformément à la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010.

① Certains phénomènes dangereux peuvent ne pas avoir d'effets au sol mais avoir des effets en altitude dépassant des limites de propriété. Le phénomène doit a minima être identifié en vue du Porter à Connaissance pour conduire à des restrictions d'usage en altitude le cas échéant.

10. CARACTERISATION DES PROBABILITES D'OCCURRENCE

Ce chapitre explicite la méthode utilisée pour évaluer la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux et des accidents majeurs.

10.1 CLASSES DES PROBABILITES D'OCCURRENCE

Les phénomènes dangereux et accidents sont classés en classe de probabilité conformément à l'annexe 1 (relative aux échelles de probabilité) de l'arrêté PICG du 29 septembre 2005.

Classe de probabilité	E	D	C	B	A
qualitative	"événement possible mais extrêmement peu probable"	"événement très improbable"	"Evénement improbable"	"événement probable"	"Evénement courant"
	<i>n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installations</i>	<i>s'est produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité</i>	<i>un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité</i>	<i>s'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation</i>	<i>s'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la vie de l'installation, malgré d'éventuelles mesures correctives</i>
semi-quantitative	Cette échelle est intermédiaire entre les échelles qualitatives et quantitatives, et permet de tenir compte des mesures de maîtrise des risques mises en place, conformément à l'article 4 du présent arrêté				
Quantitative (par unité et par an)	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	

Dans l'étude, les probabilités d'occurrence annuelle des phénomènes dangereux sont quantifiées en classe Fi. Pour les fortes fréquences (pour les EI), des classes complémentaires sont proposées. La correspondance avec les classes de l'arrêté PCIG (A à E, pour les PhD ou accidents majeurs) est la suivante :

Classe	≤ F5 E	F4 D	F3 C	F2 B	F1 A	F0 -	F-1 -
Fréquence / an	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	

10.2 DETERMINATION DES PROBABILITES D'OCCURRENCE DES PHD DE DISPERSION TOXIQUE

10.2.1 Point de départ : évaluation des fréquences des ERC

L'évaluation des probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux et accidents est réalisée à partir des événements redoutés centraux.

La source de donnée utilisée est *nom de la base*.

① Différentes sources de données sont présentées en annexe 10.

La valeur retenue correspond aux caractéristiques des équipements :

① L'exploitant précise les caractéristiques des équipements en vue de valider que les données utilisées correspondent bien aux caractéristiques de l'installation et que la probabilité évaluée est effectivement majorante.

- Diamètre de tuyauterie (valeur la plus faible correspondant à la fréquence la plus élevée) :
 - tuyauterie HP / MP : *diamètre en mm* ;
 - tuyauterie BP : *diamètre en mm* ;
- Pompes : *type centrifuge sans garniture ou avec garniture* ;
- Compresseurs : type *volumétrique ou centrifuge* ;
- Condenseurs : *à plaques ou tubulaire* ;
- Evaporateurs : *à plaques ou tubulaire*.

① Le tableau page suivante reprend les éléments identifiés dans l'APR après exclusion de certains événements. D'autres ERC peuvent donc être présentés en fonction des résultats de l'APR (si des ERC majorants en intensité ne sont pas écartés au stade de l'APR, affichage de scénarios majorants en probabilité mais de moindres intensités...). On se reportera au chapitre 7.3 de ce guide.

① Usuellement, seul le phénomène dangereux majorant en intensité est évalué. L'exploitant vérifie que les autres phénomènes de moindres intensités n'ont pas des probabilités supérieures. A défaut, il évalue cette probabilité de manière majorante.

① Si l'accident majeur résiduel ne répond pas aux conditions d'acceptabilité, l'exploitant peut évaluer en intensité et probabilité deux phénomènes dangereux : le phénomène majorant en intensité et le phénomène majorant en probabilité. L'exploitant explicite le choix des phénomènes ainsi évalués.

Le tableau ci-dessous explicite les données utilisées et les fréquences obtenues :

Zone géographique	Evénements redoutés retenus	Remarques
Extérieur	Rupture guillotine de la tuyauterie HP en aval du condenseur	Longueur (m) x Fréquence linéique de rupture guillotine, soit : <i>Longueur (m) x Fréquence linéique de rupture guillotine = fréquence annuelle</i>
Salle des machines	Rupture guillotine de la tuyauterie HP en aval du condenseur	Longueur (m) x Fréquence linéique de rupture guillotine, soit : <i>Longueur (m) x Fréquence linéique de rupture guillotine = fréquence annuelle</i>
	Perte de confinement sur la bouteille BP	Longueur BP liquide (m) x Fréquence linéique de rupture guillotine, soit : <i>Longueur (m) x Fréquence linéique de rupture guillotine = fréquence annuelle</i>
Utilisateurs Gaines techniques	Rupture guillotine de la tuyauterie BP liquide	A évaluer au cas par cas

10.2.2 Evaluation de la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux

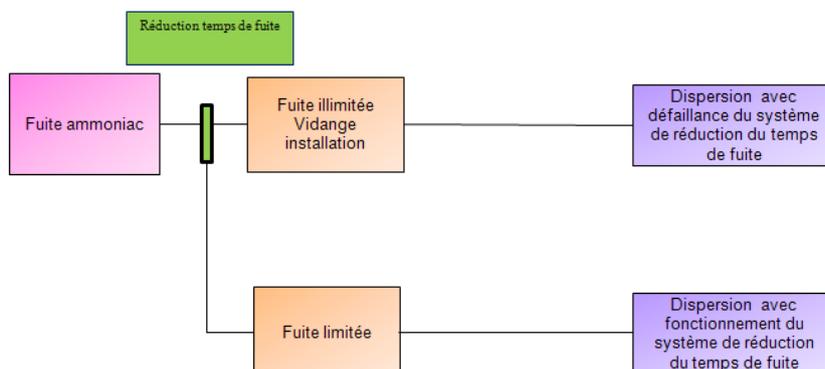
La probabilité de chaque phénomène dangereux de fuite toxique retenu pour les modélisations est évaluée en tenant compte :

- de la fréquence de l'ERC (voir § 10.2.1)
- de la probabilité de défaillance des mesures de maîtrise des risques de limitation des effets (cf. § 10.2.3).

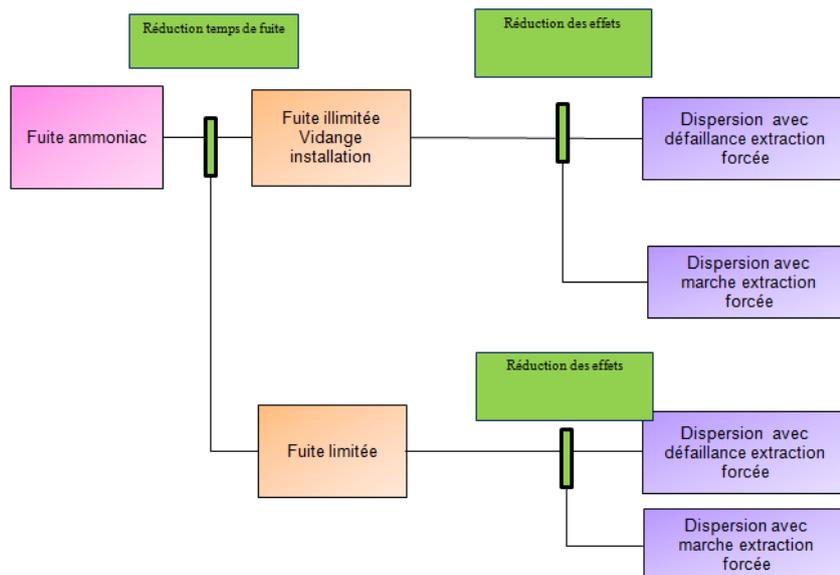
① L'exploitant peut ne pas retenir la présence des mesures de maîtrise des risques de limitation des effets. Dans ce cas, les effets sont évalués en l'absence de ces mesures et la probabilité est celle de l'ERC.

Des arbres de défaillance sont utilisés qui identifient les mesures de maîtrise des risques de limitation des effets :

- **Fuite d'ammoniac à l'extérieur :**



- **Fuite d'ammoniac dans la salle des machines :**



- **Fuite d'ammoniac en chambre froide ou dans les gaines techniques / combles :**

① L'exploitant identifie les mesures présentes (extraction, arrêt...).

10.2.3 Méthodes d'évaluation des barrières de sécurité

Les barrières de sécurité de limitation des effets ont été évaluées en suivant les méthodologies décrites dans les deux référentiels disponibles sur le site internet de l'INERIS :

- Oméga 10⁷ pour les barrières techniques de sécurité :
- Oméga 20⁸ pour les barrières humaines de sécurité ; pour les barrières humaines de sécurité la fiche n°7 de la circulaire du 10 mai 2010 fournit également une méthodologie d'évaluation.

L'évaluation s'appuie sur les évaluations individuelles de chaque élément de la barrière (détection, traitement, action) mais c'est l'évaluation de la barrière globale qui est retenue dans les évaluations de probabilité des événements.

⁷ Rapport DRA-08-95403-01561B « Evaluation des performances des Barrières Techniques de Sécurité (DCE DRA-73) - Evaluation des Barrières Techniques de Sécurité - Ω 10 » du 01/09/2008 ;

⁸ Rapport DRA-09-103041-06026B « Démarche d'évaluation des Barrières Humaines de Sécurité - Ω 20 - Programme 181 - DRA 77 : Maîtrise des risques accidentels par les dispositions technologiques et organisationnelles » du 21/09/2009

Les critères d'évaluation (communs aux barrières techniques et humaines) sont :

- **L'indépendance** : faculté d'une barrière, de par sa conception, son exploitation et son environnement, à ne pas dépendre du fonctionnement d'autres éléments et notamment d'une part d'autres barrières, et d'autre part, du système de conduite de l'installation, afin d'éviter les modes communs de défaillance ou de limiter leur fréquence d'occurrence.
- **L'efficacité** : capacité à remplir la mission/fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation
- **Le temps de réponse** : ce temps de réponse est inclus dans la cinétique de mise en œuvre d'une fonction de sécurité, cette dernière devant être en adéquation [significativement plus courte] avec la cinétique du phénomène qu'elle doit maîtriser
- **Le niveau de confiance** : il traduit la fiabilité de la barrière ;
- **Le maintien des performances** des barrières (testabilité, maintenabilité).

Le mode commun de défaillance a été pris en compte dans les évaluations.

① L'exploitant identifie les éléments de mode commun qui ont été pris en compte. Il peut s'agir de la détection gaz qui est commune à l'arrêt de l'installation et au démarrage de l'extraction.

L'indépendance vis-à-vis des dispositifs de conduite pour les arrêts d'urgence et la mise en sécurité électrique des installations est mise en œuvre.

L'évaluation des barrières est présentée en annexe.

① L'annexe 7 du présent guide propose des tableaux synthétiques de mesures de maîtrise des risques. Ces tableaux sont à adapter par l'exploitant pour l'étude.

Les NC retenus au terme de l'évaluation sont :

fonction	NC retenu
Limitation du temps de fuite	NC1
Réduction des effets par démarrage extraction	NC1
Cumul des deux fonctions	<i>NC 1 ou 2</i> <i>① Si la détection gaz n'est pas redondante ou de NC2, les NC des deux fonctions de sécurité (limitation du temps de fuite et réduction des effets par démarrage extraction) ne peuvent pas être cumulés</i>

10.2.4 Probabilité d'occurrence des PhD de dispersion toxique

La prise en compte des mesures de maîtrise des risques de limitation des effets conduit à identifier les PhD suivants dont la probabilité est évaluée comme expliqué précédemment :

① L'exploitant précise les PhD retenus (avec ou sans extraction, avec ou sans arrêt des installations...).

Zone géographique	ERC	PhD retenus
Extérieur	Rupture guillotine de la tuyauterie HP en aval du condenseur	
Salle des machines	Rupture guillotine de la tuyauterie HP en aval du condenseur	
	Perte de confinement sur la bouteille BP	
Utilisateurs Gaines techniques	Rupture guillotine de la tuyauterie BP liquide	

10.3 EVALUATION DES PROBABILITES D'OCCURRENCE DES EXPLOSIONS EN ZONE CONFINEE

Il n'est pas retenu d'explosion en cas de fuite à l'extérieur d'un local.

Une explosion en milieu confinée (salle des machines, combles, utilisateurs) est possible.

La probabilité de l'explosion fait intervenir la fréquence de fuite dans le local (engendrant une concentration suffisante pour créer les conditions d'inflammabilité) et la probabilité de l'inflammation retardée.

La fréquence de fuite dans le local est *fréquence annuelle*.

La probabilité d'inflammation retenue est 10^{-2} .

Cette valeur est retenue car l'ammoniac est faiblement réactif et que des détecteurs d'ammoniac sont installés dans les lieux potentiels de fuite avec coupure des alimentations électriques non dimensionnées pour une utilisation en atmosphère explosible.

① L'exploitant confirme que des détecteurs sont utilisés en vue de valider que la probabilité utilisée est applicable.

10.4 PRESENTATION DES PROBABILITES DES PHENOMENES DANGEREUX ET DES ACCIDENTS MAJEURS

Le chapitre 13 présente des tableaux récapitulatifs des phénomènes dangereux et accidents majeurs en explicitant les intensités, les gravités, les probabilités d'occurrence et la cinétique.

11. CARACTERISATION DE LA CINETIQUE DES EVENEMENTS

L'ensemble des phénomènes dangereux et accidents majeurs retenus dans la présente étude de dangers sont à cinétique rapide.

Il est à noter que l'adéquation de la cinétique de mise en œuvre des barrières de sécurité et de la cinétique des phénomènes dangereux conduisant aux accidents majeurs potentiels a été prise en compte.

Ainsi :

- Les barrières ont été retenues comme barrière de sécurité, sous réserve d'un temps de réponse compatible avec la cinétique des accidents ;
- Les temps de réponse des barrières de sécurité ont été pris en compte pour déterminer les intensités des phénomènes dangereux intégrant le fonctionnement des barrières (durée d'isolement, durée de démarrage de l'extraction forcée...).

12. EFFETS DOMINOS

① L'exploitant précise dans ce chapitre si des effets dominos de l'installation vers d'autres installations et au contraire si l'installation peut être atteinte par des effets d'un accident sur une autre partie d'installation.

12.1 EFFETS DOMINOS ISSUS DE LA REFRIGERATION A L'AMMONIAC

L'explosion de la salle des machines génère des effets de surpression dont les effets suivants :

- ① L'exploitant précise le niveau maximum de surpression atteint et vérifie que ces effets ne sont pas de nature à endommager la salle des machines et/ou l'extracteur; ce qui aurait pu remettre en cause les effets évalués. Si les effets de surpression sont suffisamment faibles, il précise que la structure et les équipements ne peuvent pas être endommagés, ce qui ne remet pas en cause les effets évalués dans l'étude.
- ① L'exploitant précise si des effets dominos vers d'autres installations sont possibles.

Une libération brutale d'ammoniac peut conduire à une montée en pression dans le local qui conduit à l'émission de bouffées au niveau du sol par les ouvertures (vantelles, interstices sous les portes...).

① L'exploitant valide que la mise en route de l'extraction et les ouvertures dans le local suffisent à éviter une montée en pression conduisant à un éclatement du local.

12.2 EFFETS DOMINOS ISSUS D'AUTRES INSTALLATIONS

① L'exploitant précise les installations pouvant avoir des effets dominos sur la réfrigération à l'ammoniac.

Il peut s'agir :

- d'une chaufferie gaz (scenario d'explosion de la chaufferie),
- d'une autre installation classée dont les seuils d'effet dominos d'un ou plusieurs phénomènes sont atteints au niveau d'une partie de l'installation de réfrigération.

Les installations voisines pouvant impacter l'installation sont précisées (tuyauterie d'eau de gros diamètre et forte pression, engins stationnés...).

13. BILAN DES PHENOMENES DANGEREUX ET DES ACCIDENTS MAJEURS

13.1 TABLEAU DE SYNTHESE DES PHENOMENES DANGEREUX ET ACCIDENTS MAJEURS

Ce chapitre synthétise les caractéristiques de l'ensemble des phénomènes dangereux et accidents majeurs identifiés dans l'étude de dangers. Par souci de simplification, un seul tableau a été retenu qui regroupe pour chaque phénomène dangereux et accident majeur associé :

- les distances pour les seuils d'effets SELS, SEL, SEI et bris de vitre ;
- la gravité ;
- les probabilités d'occurrence ;
- la cinétique.

Ces caractéristiques ont été évaluées dans les chapitres précédents.

① L'exploitant présente ci-dessous le tableau récapitulatif sous la forme suivante, en listant tous les phénomènes dangereux.

Certains phénomènes dangereux peuvent ne pas avoir d'effets au sol mais avoir des effets en altitude dépassant des limites de propriété. Ces phénomènes doivent être identifiés en vue du Porter à Connaissance pour conduire à des restrictions d'usage en altitude le cas échéant (cf. § 13.3). Le tableau des accidents majeurs pourra ainsi être complété par un 2^{ème} tableau listant les phénomènes dangereux avec des effets en altitude à l'extérieur.

PhD	commentaires	Classe proba	Type d'effet	Distances d'effet (m)				Cinétique	Gravité
				SELS	SEL	SEI	Bris vitre		
1									
2									
3									
4									

Ce tableau permet d'établir :

- le positionnement des accidents majeurs dans la matrice des risques ;
- les phénomènes dangereux pour le Porter à Connaissance.

13.2 POSITIONNEMENT DES ACCIDENTS DANS LA MATRICE DES RISQUES

① L'exploitant positionne les accidents majeurs dans une matrice. Le positionnement des accidents est le point de départ pour que l'administration statue sur l'acceptabilité des risques. Cependant pour des installations soumises à autorisation, il n'existe pas de règles d'acceptabilité mais en pratique des règles proches de celles applicables aux établissements Seveso sont souvent appliquées. L'exploitant pourra donc s'y reporter pour informations.

Les accidents sont positionnés dans la matrice ci-dessous :

	Probabilité (sens croissant de E vers A (note 1))				
Gravité des conséquences sur les personnes exposées au risque	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré					

① L'exploitant conclut sur le fait que les critères d'acceptabilité sont a priori satisfaits. Les conditions d'acceptabilité pourront être discutées au préalable avec la DREAL.

L'étude de dangers démontre que les conditions d'acceptabilité sont satisfaites.

13.3 PHENOMENES DANGEREUX POUR LE PORTER A CONNAISSANCE

Les phénomènes dangereux permettent d'élaborer le Porter à Connaissance (cf. circulaire du 4 mai 2007).

① Au préalable, il faut sélectionner les phénomènes à retenir. Ainsi, certains phénomènes dangereux peuvent ne pas être retenus : la règle d'exclusion est celle définie pour les phénomènes dangereux dans les PPRT (« filtre probabilité »). Elle repose sur la notion que des phénomènes dangereux avec de faibles probabilités d'occurrence peuvent ne pas être retenus pour la maîtrise de l'urbanisation. On se reportera à la circulaire DPPR/SEI2/FA-07-0066 du 04/05/07 relatif au porter à la connaissance " risques technologiques " et maîtrise de l'urbanisation autour des installations classées.

Les phénomènes dangereux pouvant être exclus du Porter à Connaissance sont les suivants :

① L'exploitant liste les phénomènes dangereux qu'il propose d'exclure du Porter à Connaissance.

Les phénomènes dangereux maintenus pour le Porter à Connaissance sont, après exclusion des phénomènes identifiés précédemment, les suivants :

① L'exploitant présente le tableau du chapitre 13.1 en supprimant les phénomènes répondant aux conditions du filtre probabilité. Il explicite les phénomènes ayant des effets en altitude avec des distances plus importantes que les distances d'effets au sol.

14. RESUME NON TECHNIQUE ET CARTOGRAPHIES DES EFFETS

14.1 RESUME NON TECHNIQUE

① L'étude de dangers contient un résumé non technique de son contenu faisant apparaître les principaux résultats de l'analyse des risques sous forme didactique. Il est destiné au public et doit par conséquent être rédigé d'une manière compréhensible par tous.

Il sera nécessaire de rappeler les objectifs de l'étude de dangers et les termes utilisés (tels que la probabilité, la cinétique, l'intensité, la gravité) de manière compréhensible par le public.

Une trame est proposée ci-dessous qui doit être adaptée à chaque site, en fonction du contexte et des enjeux. Si des problèmes particuliers sont soulevés (par exemple relatifs à la maîtrise de l'urbanisation actuelle ou future, aux règles d'acceptabilité...), le résumé non technique mettre en évidence les conclusions particulières relatives à ces points durs et les moyens mis en œuvre pour résorber les problèmes éventuels (nouvelles mesures de sécurité par exemple).

① Le résumé non technique pourra contenir les parties suivantes :

❖ Contexte et démarche mise en œuvre

Cette partie rappelle le contexte de l'étude de dangers (méthodologie utilisée, enjeux...).

○ Introduction

Le présent dossier constitue l'étude de dangers de l'installation de réfrigération de *nom de la société* situé sur la commune de *nom de la commune (nom du département)*.

L'installation est soumise à autorisation ; sa capacité en ammoniac est *quantité d'ammoniac* tonnes.

L'étude s'inscrit dans une demande :

- *de mise à jour de l'étude de dangers suite à extension ou modification ;*
- *de demande d'autorisation d'exploiter ;*
- *etc...*

○ Objectif de l'étude de dangers

① L'exploitant rappelle l'objectif de l'étude de dangers. Celle-ci doit permettre une démonstration de la maîtrise du risque sur le site qui conduit l'administration à autoriser et réglementer l'installation. L'étude de dangers sert également de base, à des règles d'urbanisation éventuelles ; elle procède à **l'information préventive sur les risques** du public, du personnel et des exploitants des installations voisines. Elle apporte aussi les éléments permettant d'élaborer le cas échéant les plans de secours.

○ La démarche

① L'exploitant présente la méthodologie mise en œuvre.

L'étude de dangers a été réalisée conformément à l'arrêté du 29 septembre 2005. L'étude rend compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets des phénomènes dangereux et de la gravité potentielle des accidents susceptibles de découler de leur exploitation et d'affecter les intérêts visés par l'article L. 511-1 du Code de l'environnement.

Comme l'indique la figure page suivante, l'étude de dangers est centrée sur une analyse de risques des installations. Cette analyse constitue la démarche d'identification et de réduction des risques.

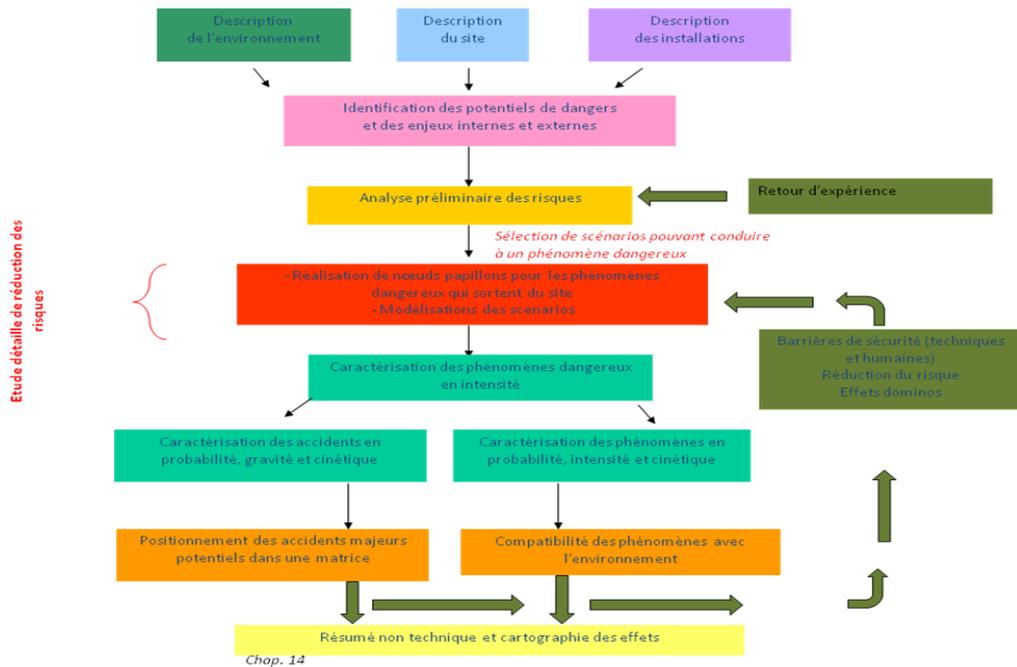
L'analyse de risques a été réalisée avec la participation de nombreux acteurs de l'établissement : *la direction, les services techniques, la production, la sécurité, l'environnement, etc...* Cette diversité d'intervenants a permis d'intégrer à toutes les étapes de l'étude le retour d'expérience.

L'analyse préliminaire des risques a permis de déterminer les équipements devant faire l'objet d'une analyse plus détaillée et de dresser une liste de phénomènes dangereux à modéliser pour en déterminer les distances d'effet, afin de confirmer la possibilité d'effet domino et/ou d'impact à l'extérieur du site.

Lorsque les distances d'effet des phénomènes dangereux sortent des limites du site, une analyse détaillée des risques a été menée pour ces phénomènes afin :

- de démontrer la performance des mesures de sécurité mises en place ;
- de déterminer la probabilité des phénomènes dangereux et accidents majeurs potentiels ;
- de déterminer la cinétique des phénomènes dangereux et la gravité des accidents majeurs potentiels associés.

Ces accidents potentiels susceptibles d'avoir des effets à l'extérieur de l'établissement ont été positionnés dans une grille, tel que prévu dans l'arrêté du 29 septembre 2005.



○ L'environnement de l'installation

Dans l'environnement du site, on peut distinguer :

① L'exploitant liste :

- les enjeux potentiels (zones urbanisées, ERP, voies de communication, autres activités, ouvrages publics....) ;
- les sources d'agressions potentielles (ICPE, TMD...).

❖ Description des installations de réfrigération

① L'exploitant liste les équipements et les principales caractéristiques.

Les installations de réfrigération sont constituées des équipements suivants :

Le condenseur est installé *localisation à préciser*.

Les utilisateurs sont alimentés en *système direct ou indirect*.

Les installations ont été conçues dans le souci de la réduction du potentiel de dangers et de la maîtrise du risque.

La maîtrise du risque passe par :

① L'exploitant liste pour chaque item les mesures en place. Des propositions sont faites ci-dessous qui sont à adapter à chaque site.

- la mise en place de mesures permettant de prévenir les pertes de confinement sur les équipements : ... ;
- la mise en place de mesures de maîtrise des risques permettant de réduire les quantités rejetées en cas de perte de confinement : ... ;

- la prévention des risques d'explosion en cas de fuite d'ammoniac : ... ;
- la prévention des risques d'incendie et la limitation des effets en cas d'incendie : ... ;
- la mise en place de mesures destinées à réduire les effets en cas de perte de confinement : ... ;
- la mise en place de mesures destinées à réduire les impacts sur l'environnement :

Ces mesures existantes sont intégrées dans les résultats de l'étude de dangers.

❖ Propositions d'améliorations

① L'exploitant liste les mesures proposées et leur délai de mise en œuvre. Il précise si ces mesures sont prises en compte dans l'étude actuelle.

Dans un souci de réduction du risque complémentaire, l'exploitant propose de mettre en place les mesures suivantes :

- *Mesure 1 : délai ;*
- *Mesure 2 : délai ;*
- *Etc...*

❖ Résultats

① L'exploitant présente les résultats de l'étude de dangers. Cette partie doit mettre en évidence les conclusions en terme de maîtrise du risque et les solutions apportées pour répondre aux problèmes spécifiques soulevés potentiellement par l'installation (par exemple relatifs à la maîtrise de l'urbanisation actuelle ou future, aux règles d'acceptabilité...).

La trame ci-dessous est donnée à titre d'exemple et doit donc être adaptée.

○ Analyse de risques

① L'exploitant liste les événements potentiellement non retenus.

Les analyses de risques ont été réalisées pour chaque équipement selon une méthode reconnue et adaptée. Celle-ci a permis d'écarter de l'analyse des événements pour lesquels aucun effet à l'extérieur du site ou d'effet domino n'était à craindre ou des événements jugés « physiquement impossibles ». Les autres événements ont été retenus. Parmi ces événements, une sélection a été faite pour réaliser des modélisations sur les événements majorants en intensité.

① L'exploitant liste les événements retenus pour l'étude détaillée des risques.

Les installations existantes du site font apparaître les phénomènes dangereux de fuite toxique liés aux événements redoutés suivants :

- Rupture guillotine de la tuyauterie en aval du condenseur,

- *Autres événements,*
- *Etc...*

Le phénomène d'explosion de la salle des machines est également identifié.

① Préciser s'il s'agit d'un accident majeur ou si des effets de bris de vitre peuvent se faire sentir à l'extérieur du site.

Tous les phénomènes retenus sont à cinétique rapide.

- **Accidents majeurs et acceptabilité des risques**

L'étude fait apparaître *nombre* phénomènes pouvant conduire à des accidents majeurs, c'est-à-dire pouvant avoir potentiellement des effets à l'extérieur du site.

① L'exploitant conclut sur les critères d'acceptabilité et la maîtrise du risque.
Les conditions d'acceptabilité des risques sont satisfaites.

- **Maîtrise de l'urbanisation**

① L'exploitant liste les phénomènes dangereux retenus pour la maîtrise de l'urbanisation (pour le Porter à Connaissance).

Après exclusion des phénomènes dangereux répondant au critère dont la « probabilité est suffisamment faible », les phénomènes dangereux servant pour l'élaboration du Porter à Connaissance⁹ sont :

- *Phénomène ;*
- *Phénomène ;*
- *Etc....*

① L'exploitant précise s'il existe des phénomènes avec des bris de vitre sortant des limites de propriété.

- **Plans d'urgence**

① L'exploitant précise le cas échéant quels phénomènes sont retenus pour élaborer les éventuels plans d'urgence.

⁹ Circulaire DPPR/SEI2/FA-07-0066 du 04/05/07 relatif au porter à la connaissance " risques technologiques " et maîtrise de l'urbanisation autour des installations classées

14.2 CARTOGRAPHIES DES EFFETS

① Les cartographies sont présentées pour chaque phénomène dangereux, en précisant si les distances d'effet s'appliquent au sol ou en altitude. Les probabilités de chaque phénomène figurent sur les cartographies.

Sur la base des phénomènes dangereux retenus, après exclusion des « filtres probabilité », les cartographies des enveloppes des effets sont représentées.

① Les cartographies de l'enveloppe des effets peuvent être tracées en vue de la maîtrise de l'urbanisation, en distinguant les effets au sol et les effets en altitude. Les enveloppes pourront (selon les politiques de maîtrise de l'urbanisation envisagées) distinguer les deux catégories de probabilités :

- E ;
- D à A.

Ces informations permettront l'élaboration du Porter à Connaissance.

① Le cas échéant, les cartographies des effets en vue de l'élaboration des plans d'urgence sont présentées également.

15. REFERENCES

Les références utilisées dans l'étude et ses annexes sont suivantes :

- [1]. AFF, *Installations frigorifiques fonctionnant à l'ammoniac – leur impact sur l'environnement – Guide d'étude des risques technologiques*, avril 1999.
- [2]. AFF et ADEME, *Guide des bonnes pratiques pour les installations frigorifiques fonctionnant à l'ammoniac*, février 2003.
- [3]. Ministère de l'environnement, *l'Ammoniac et la réfrigération*, SEI/BARPI ED0389, février 1995 et son complément 2002.
- [4]. CSST (Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec), *Systèmes de réfrigération fonctionnant à l'ammoniac, mesures de prévention*, 2^{ème} édition, 2009.
- [5]. Article EPA – CEPP – *Hazards of ammonia releases at ammonia refrigeration facilities (update)* – August 2001.
- [6]. HSE, *Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments – (FRED)*, 28 juin 2012.
- [7]. LNE, *Handboek Faalfrequenties (Handboek Kanscijfers – AMINAL), guide méthodologique*, 2009.
- [8]. RIVM, *Reference manual BEVI risk assessment (Purple book)*, 2009
- [9]. RIVM report n° 620100003/2005 - P.A.M. Uijt de Haag. *Distance table for ammonia cooling plants*, 2005.
- [10]. ICSI, *Résumé des travaux du groupe de travail « fréquence des événements initiateurs d'accidents et disponibilité des barrières de protection et de prévention »*, juillet 2006.
- [11]. SINTEF, *OREDA (Offshore Reliability Database)*.
- [12]. BARPI, *Retour d'expérience – L'ammoniac et la réfrigération*, SEI/BARPI ED0389, février 1995.
- [13]. INERIS, *Rapport Ω-19 – Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (DRA-35) – Détermination des grandeurs caractéristiques du terme source nécessaires à l'utilisation d'un modèle de dispersion atmosphérique des rejets accidentels*, INERIS-DRA-2005-P46055-C51706, novembre 2006.
- [14]. BONNET P. et LACOME J-M., *Experimental study of accidental industrial LPG releases rain-out investigation*, 40th Loss Prevention Symposium, Florida, 2006.
- [15]. BOUET R., *Ammoniac – Essais de dispersion atmosphérique à grande échelle*, INERIS DRA-RBo-1999-20410, 1999.
- [16]. BOUET R, DUPLANTIER S. et SALVI O., *Ammonia large scale atmospheric dispersion experiments*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 18, pg 512-519, 2005.

- [17]. GENTILHOMME O., DRA-72 : Experimental results of liquefied ammonia releases in a congested environment, DRA-12-95340-01141A, 2012.
- [18]. UFIP, Guide méthodologique UFIP pour la réalisation des études de dangers en raffineries, stockages et dépôts de produits liquides et liquéfiés, vol1, juillet 2002.
- [19]. UIC, Emission à la brèche, Débit en phase gazeuse, Débit en phase liquide, Formation et vaporisation des flaques, Cahier de sécurité n°11, 1987.
- [20]. ANDERSON J.D., Computational Fluid Dynamics : the Basics with Applications, McGraw Hill, 1995.
- [21]. FERZIGER J.H. et PERIC M., Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer Verlag, 1999.

16. LISTE DES ANNEXES

Annexe	Désignation précise	N° de pages
1	Description des installations de réfrigération à l'ammoniac	21
2	Caractéristiques de l'ammoniac	7
3	Optimisation de la quantité d'ammoniac	4
4	Accidentologie des installations de réfrigération : synthèse et exemples d'accidents caractéristiques	12
5	Tableaux d'analyse préliminaire des risques Arbres de défaillances génériques	21
6	Bonnes pratiques et mesures de sécurité : Rappel des exigences des textes réglementaires et de la norme NF EN 378	32
7	Evaluation d'éléments des mesures de maîtrise des risques : Tableau de synthèse des évaluations	6
8	Caractérisation de l'intensité	19
9	Arbres d'événements génériques	4
10	Eléments de probabilité	11
11	Fiche d'inspection Détecteurs de gaz	22

ANNEXE 1
Description des installations de réfrigération à l'ammoniac

Cette annexe décrit le principe des installations de réfrigération à l'ammoniac et donne des informations sur les équipements constituant les installations.

Les informations sont issues de différents documents (dont réf. [1], [2], [3]) et d'échanges avec l'AFF.

1. PRINCIPE D'UNE INSTALLATION DE REFRIGERATION - AMMONIAC ET AUTRES FLUIDES FRIGORIGENES

1.1 PRINCIPES

Une installation de réfrigération doit assurer le maintien d'un milieu à une basse température. La température requise varie en fonction des utilisations finales qui peuvent être variées (stockage, entreposage de denrées, pistes de patinoire, refroidissement de réacteurs en chimie...).

On regroupe les installations en trois grandes catégories :

Utilisation	Systèmes	Température requise
Surgélation / congélation	Basse ou moyenne température	-50°C à -25°C
Réfrigération (négative)	Haute température	-10°C à 0°C
Réfrigération (positive)	Très haute température	> 0°C

Tableau 1 : Régime de froid

On s'intéresse dans ce guide aux installations de réfrigération fonctionnant avec de l'ammoniac comme fluide frigorigène mais il existe d'autres fluides qui sont utilisables en fonction des températures requises.

L'ammoniac présente l'avantage de couvrir tout le champ des températures d'utilisation. C'est un fluide naturel qui n'a pas d'impact sur le réchauffement climatique ou la couche d'ozone. Il existe cependant des freins à son développement du fait notamment de son caractère toxique et de son caractère faiblement inflammable. Cette annexe présente d'autres fluides utilisables en fonction des besoins de froid. La réduction du risque à la source peut conduire à mettre en œuvre des systèmes multi-fluides combinant ammoniac et autres fluides jugés moins dangereux, selon le contexte.

La production de froid est assurée au niveau d'un évaporateur situé dans un système à refroidir : tunnel de surgélation, chambre froide, etc. Un liquide frigorigène, plus froid que le milieu à refroidir, est évaporé dans cet évaporateur. Le fluide suit ensuite un cycle frigorifique avec compression, condensation et détente.

Le schéma de principe d'une installation est représenté figure suivante :

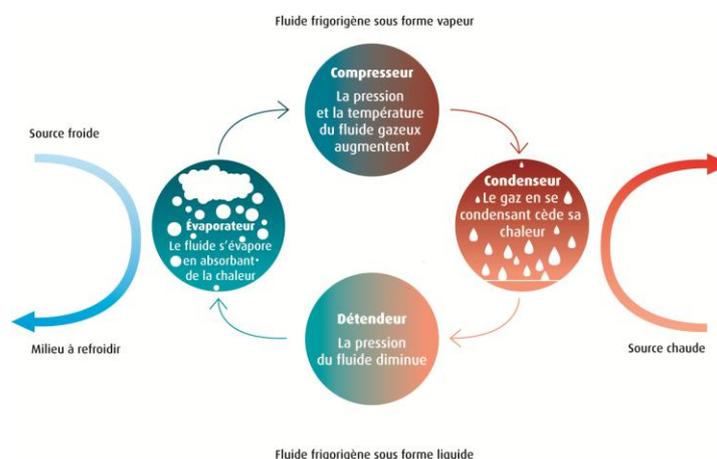


Figure 1 : Schéma de principe d'une installation de réfrigération

Le choix des caractéristiques de l'installation (températures et pressions) est imposé par les températures de la source froide et celles de la source chaude.

- **Evaporateur** : la température d'évaporation du fluide doit être plus basse que celle du milieu à refroidir ; selon les températures de froid à maintenir le côté BP du système sera de 0,7 bar abs à 5 bar abs ; à noter qu'en phase d'arrêt d'installation, l'ammoniac est ramené dans le ballon séparateur et la pression est celle correspondant à la température ambiante, soit environ 8 bar abs.
- **Condenseur** : la température de condensation doit être plus élevée que celle du milieu constituant la source chaude. Selon les sources de refroidissement (eau ou air) et les saisons (température de l'air variable), la pression côté HP sera de 8 bar abs à 13,5 bar abs.
- **Compresseur** : le fluide est comprimé dans un compresseur en recevant de l'énergie ; la pression et la température de fin de compression permettent d'assurer ensuite l'échange avec la source chaude au niveau du condenseur ;
- **Détendeur** : le fluide est détendu ; sa pression diminue ; il commence à se vaporiser.

1.2 SCHEMA DE PRINCIPE D'UNE INSTALLATION

Le schéma ci-dessous présente un exemple d'installation de réfrigération à l'ammoniac.

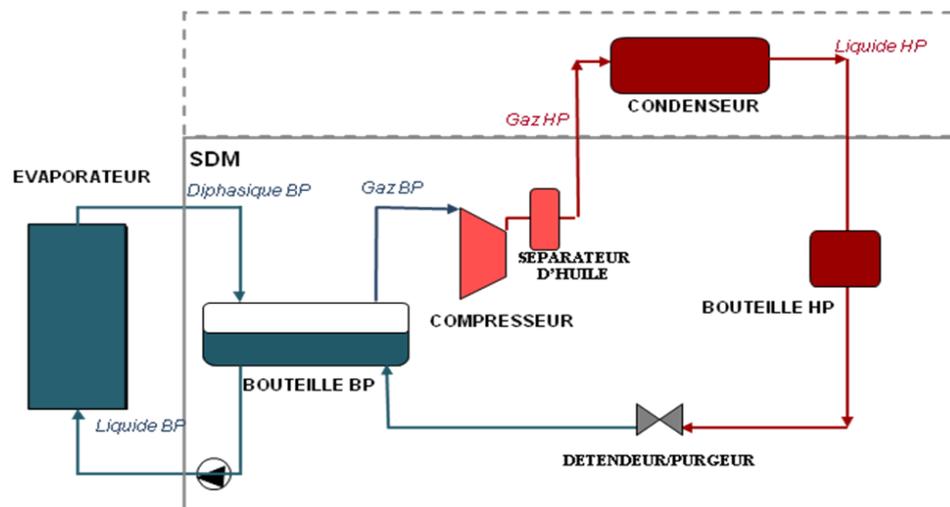


Figure 2 : Exemple d'installation de réfrigération

1.3 FLUIDES FRIGORIGENES

Les fluides frigorigènes sont des fluides chimiques purs ou en mélanges utilisés dans les circuits frigorifiques. Leur choix par le frigoriste dépend d'un certain nombre de critères :

- thermodynamiques, thermiques et technologiques ;
- écologiques vis-à-vis de l'environnement ; les effets des fluides frigorigènes sur l'environnement se mesurent par deux paramètres :
 - la capacité de destruction de la couche d'ozone : ODP (Ozone Depletion Potential) ;
 - le réchauffement climatique : GWP (Global Warming Potential) ;
- de sécurité vis-à-vis des personnes et des biens.

Les fluides historiques sont les fluides dits naturels : ammoniac, CO2 et SO2.

Les fluides de synthèse (CFC, HCFC, HFC) sont apparus beaucoup plus tard, dans les années 1930 :

- les ChloroFluorocarbures (CFC) : R11, R12, R502... ;
- les HydroChloroFluoroCarbures (HCFC) : R22... ;
- les HydroFluoroCarbures (HFC) : R134a, R404A, R407C ou R410A.

Suite aux Protocoles de Montréal (1987) et de Kyoto (1997), l'usage des fluides à base de chlore (CFC et HCFC) a été progressivement limité à cause de leur impact sur la couche d'ozone et sur le réchauffement climatique. Or la part des HCFC dans les installations est importante, comme le montre le tableau ci-dessous :

Fluide	Répartition
HCFC	45%
Ammoniac (R717)	45%
CO2 (R744)	10%

Tableau 2 : répartition des fluides dans les installations de froid

De nombreuses installations sont donc en cours de conversion posant ainsi la question des fluides de substitution. Les HFC présentent un fort taux GWP et ne sont donc pas recommandés à long terme. Ils font l'objet d'une nouvelle réglementation européenne¹ qui prévoit leur interdiction progressive.».

Pour limiter les quantités d'ammoniac, les installations peuvent être composées de différents circuits : circuit primaire et circuits secondaires avec des fluides différents adaptés aux besoins. On parle aussi d'installations en cascade.

1.4 PRESSIONS ET TEMPERATURE DE L'AMMONIAC DANS LE CYCLE

Comme précisé précédemment, le choix des caractéristiques du cycle frigorifique (pressions et températures) dépend des températures de la source froide et de la source chaude. La figure ci-dessous représente la courbe d'équilibre de l'ammoniac.

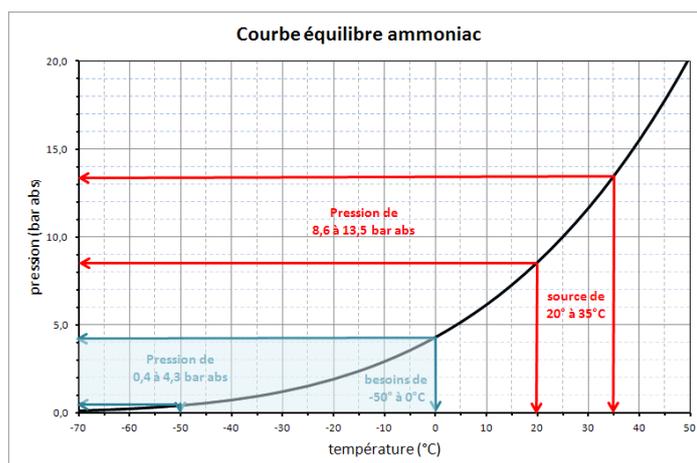


Figure 3 : Courbe équilibre de l'ammoniac

Pour des besoins de -50°C à 10°C, la pression côté BP est de 0,5 bar abs à 5 bar abs.

Pour des températures de fluide côté source chaude (eau ou air) de 18°C à 35°C, la pression côté BP est de 8 à 13,5 bar abs.

¹ Règlement 517/2014 du 16 avril 2014

2. DIFFERENTS TYPES D'INSTALLATIONS DE REFRIGERATION AMMONIAC

Les installations de réfrigération à l'ammoniac se distinguent par plusieurs aspects :

- Systèmes monoétagés ou bi-étagés ;
- Position du condenseur ;
- Systèmes directs ou indirects.

2.1 SYSTEMES MONO-ETAGES OU BI-ETAGES

Si la différence de pression entre le côté BP et le côté HP est important, deux étages de compression peuvent être nécessaires. En pratique, en cas de systèmes bi-étagés, l'installation sera composée de deux compresseurs (BP -> MP et MP -> HP) avec refroidissement intermédiaire dans un ballon MP ou d'un seul compresseur avec admission à deux niveaux de pression (BP et MP) ; on parle dans ce dernier cas de système « superfeed ». Si l'écart de pression n'est pas trop important, un seul compresseur est nécessaire (BP-HP).

2.1.1 Systèmes mono-étagés

Il existe différents systèmes qui sont présentés brièvement ci-dessous. Le chapitre 2.4 présente des schémas de principe.

2.1.1.1 Systèmes mono-étagés à détente sèche

Ces systèmes trouvent des applications dans les domaines suivants :

- Froid domestique et commercial ;
- Petit industriel (jusqu'à 50 kW frigorifique).

2.1.1.2 Les systèmes monoétagés à recirculation

Ces systèmes trouvent des applications dans les domaines suivants :

- Froid industriel positif ;
- 100 kW – 1 MW frigorifique.

2.1.1.3 Les systèmes monoétagés à frigoporteurs

Ces systèmes trouvent des applications dans les domaines suivants :

- Froid industriel positif et grosse climatisation ;
- 100 kW – 1 MW frigorifique ;
- Ratio classique : 1-2 kg de fluide par kW frigorifique.

2.1.2 Systèmes bi-étagés

2.1.2.1 Systèmes bi-étagés à injection partielle et distribution par pompe

Ces systèmes trouvent des applications dans les domaines suivants :

- Froid industriel négatif (-40°C), chambres froides, certains surgélateurs (dont plaques) ;
- 100 kW – 1 MW.

2.1.2.2 Autres systèmes

Des systèmes avec un seul compresseur avec admission à deux niveaux de pression (BP et MP) ; on parle dans ce dernier cas de système « superfeed ».

2.2 POSITION DU CONDENSEUR

Le condenseur peut être installé en salle des machines ou à l'extérieur de la salle des machines. La position dépend du fluide utilisé pour la condensation :

- **des condenseurs de type aéro** (fonctionnant par refroidissement par air éventuellement couplé avec de l'eau) **sont nécessairement à l'extérieur** ; l'inconvénient majeur de cette configuration est que les effets sont majorés en cas de fuite. Une des pratiques de réduction du risque est de confiner ces condenseurs en changeant de fluide (eau exclusivement utilisée à la place de l'air) ou a minima de capoter les collecteurs d'entrée et sortie d'ammoniac (cf. annexe 3) ;
- **des condenseurs fonctionnant par refroidissement par eau** : ces condenseurs **peuvent être installés à l'intérieur** de la salle des machines.

2.3 SYSTEME DIRECT OU INDIRECT COTE FROID

Le refroidissement du milieu à refroidir peut s'effectuer soit directement soit indirectement.

- **système direct** : le milieu à refroidir est en contact avec l'évaporateur où se vaporise le fluide frigorigène (ammoniac) produisant le froid ; le refroidissement direct est beaucoup utilisé dans les industries agroalimentaires pour la réfrigération, la congélation et le stockage à des températures supérieures à 0°C. L'inconvénient de ce type de refroidissement est que l'ammoniac BP n'est pas confiné en salle des machines.

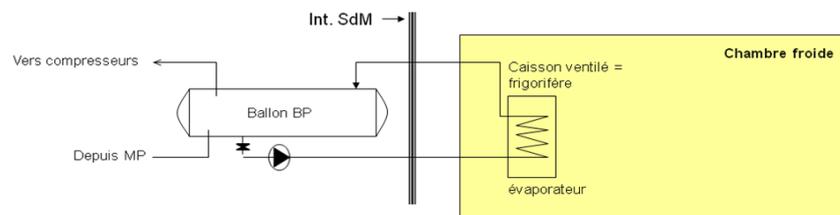


Figure 4 : système direct

- **système indirect** : le refroidissement est indirect lorsque le transfert par un fluide intermédiaire (fluide frigoporteur) circulant dans un circuit fermé (circuit frigoporteur) est utilisé. Un système d'échangeur de chaleur entre l'ammoniac et le fluide frigoporteur (eau glycolée, saumures, alcali...) est utilisé. Ce type de refroidissement permet de confiner l'ammoniac BP à la salle des machines.

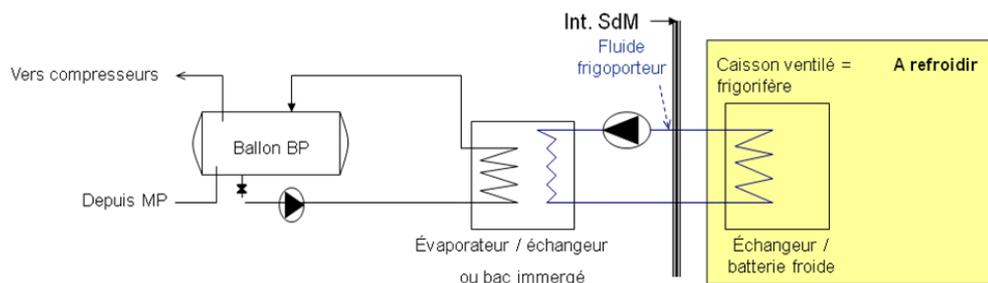


Figure 5 : système indirect

2.4 DIFFERENTS TYPES D'INSTALLATIONS DE REFRIGERATION AMMONIAC

2.4.1 Exemples de schémas génériques

Différents exemples de schémas mono-étagés ou bi-étagés sont présentés ci-dessous. La nature des circuits dépend des besoins de froid. Selon le guide AFF (cf. réf. [1]), il existe 7 grands types d'installation correspondant à 7 applications.

- A1 : refroidisseur de liquide (toutes industries agroalimentaires, climatisation...)
- A2 : pistes de patinage
- A3 : bac à glace ou eau glacée (laiteries, climatisation...)
- A4 : chambres à produits réfrigérés
- A5 : chambres à produits congelés
- A6 : chambres et systèmes de réfrigération
- A7 : chambres et systèmes de congélation.

Application	Température côté froid	Pression « BP »	Distribution	Condensation	Etages de compression
A1	moyenne ou haute	1,5 à 5 bars	par gravité	air ou eau	1 ou 2
A3	haute	1,5 à 5 bars	par gravité	air ou eau	1
A4	haute	1,5 à 5 bars	par gravité ou pompe	air ou eau	1
A6	haute	1,5 à 5 bars	par gravité ou pompe	air ou eau	1
A2	haute	2 à 5 bars	par pompe	air	1
A5	moyenne	1 à 3 bars	par pompe	air	2
A7	basse	1 à 3 bars	par gravité ou pompe	air	2

Les schémas génériques sont présentés pages suivantes. Ils sont regroupés selon la température côté froid. Ils sont adaptés du guide AFF [1] et correspondent à un état des pratiques au moment de la rédaction du guide AFF. Le schéma de principe du guide AFF [1] ne comporte pas de ballon HP. Il a été modifié dans le présent guide. Les valeurs indiquées sont des valeurs moyennes.

Notes : les diamètres indiqués pour le liquide HP dans les schémas relatifs à la réfrigération négative ou positive ne correspondent pas nécessairement à une alimentation directe de ballon HP. Ainsi, un petit diamètre (DN15) ne se rencontre pas en alimentation de ballon HP mais dans le cas d'une alimentation directe d'évaporateur.

Des évolutions sont en cours sur les technologies. Celles-ci sont décrites dans l'annexe 3 relative à la justification du potentiel de dangers.

2.4.1.1 Réfrigération négative ou positive

❖ Points communs sur la partie HP

Un compresseur mono-étagé est suffisant pour assurer la montée en pression. En pratique, la pression au refoulement du compresseur peut-être plus élevée que celle indiquée sur les schémas, pour assurer la condensation en période de chaleur ; ainsi, en été, la pression au refoulement du compresseur peut atteindre 13,5 bar abs (correspondant à une température d'équilibre de 35°C).

Les schémas font apparaître des condenseurs évaporatifs ou de type multitubulaires ; ces derniers tendent à disparaître pour être remplacés par des échangeurs à plaques. Ceux-ci permettent de limiter la quantité d'ammoniac présente dans l'installation.

Le condenseur peut se trouver dans la salle des machines s'il s'agit d'un échangeur multitubulaire ou à plaques ; dans le cas d'un évapocondenseur, il est nécessairement à l'extérieur de la salle des machines.

La bouteille HP ne se trouve pas dans toutes les configurations. Elle tend à disparaître, ce qui réduit la quantité d'ammoniac HP dans les installations.

❖ Différents schémas selon les utilisateurs

2.4.1.1.1 A1 – Groupe refroidisseur de liquide (industries agroalimentaires, climatisation...)

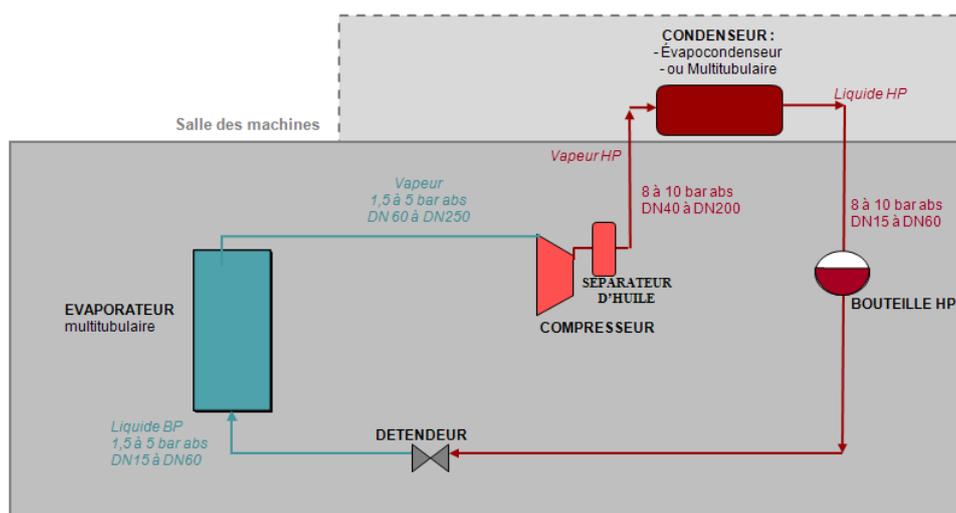


Figure 6 : Groupe refroidisseur de liquide

L'évaporateur se situe dans la salle des machines.

Cette installation ne présente pas de ballon BP ; elle n'est plus représentative des installations actuelles.

2.4.1.1.2 A3 – Bac à glace ou eau glacée (laiteries, climatisation...)

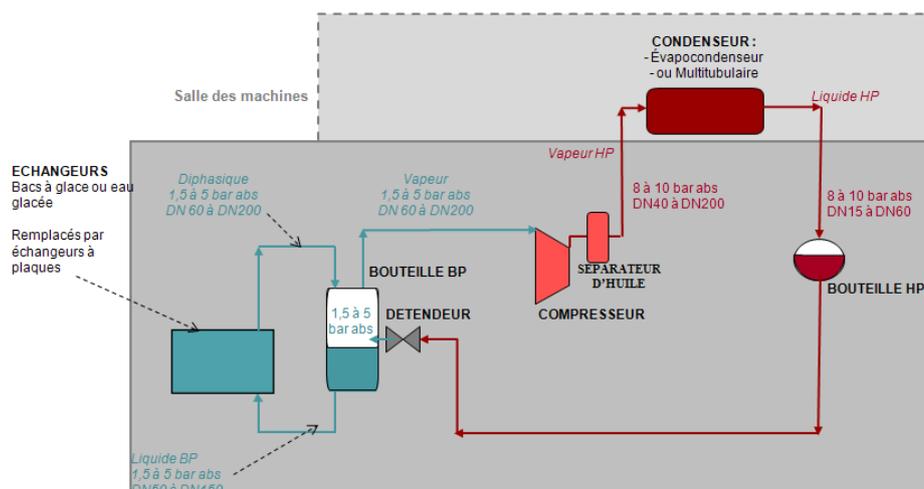


Figure 7 : Bac à glace ou eau glacée

Ce schéma fait apparaître des échangeurs côté utilisateurs de type « bacs à glace ou eau glacée » (composés de « herses ») qui tendent à disparaître pour être remplacées par des échangeurs à plaques. Ces derniers permettent ainsi de limiter la quantité d'ammoniac présente dans l'installation. Les percements de tubes sur les « herses » (identifiés dans l'accidentologie) sont ainsi évités.

L'évaporateur se situe dans la salle des machines.

2.4.1.1.3 A6 – Chambres à produits réfrigérés

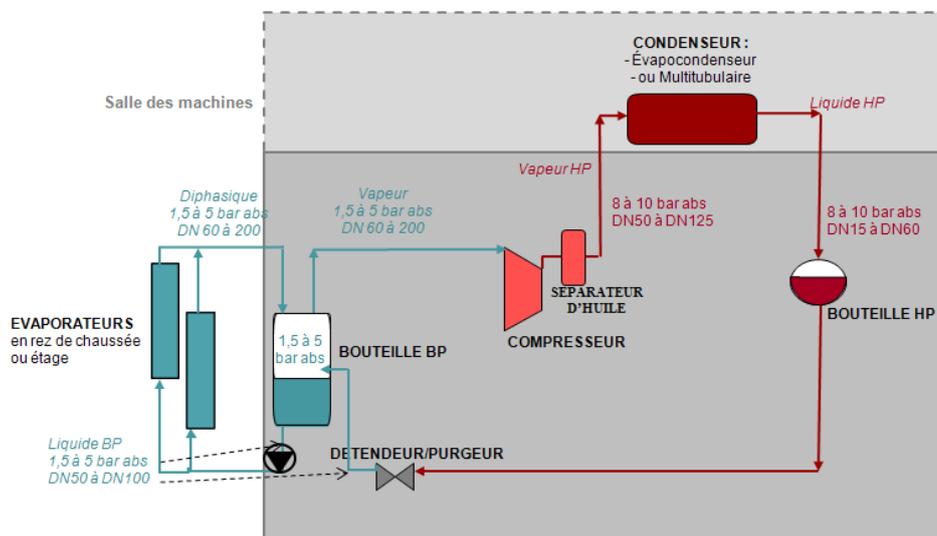


Figure 8 : Chambres à produits réfrigérés

Ce schéma est une configuration classique dans lequel les utilisateurs (chambres froides) sont situés à l'extérieur de la salle des machines. Ils sont alimentés en ammoniac via une pompe en aval de la bouteille BP.

L'ammoniac n'étant pas confiné à la salle des machines, des fuites sont possibles le long des cheminements de tuyauteries (souvent en combles techniques) ou au niveau des utilisateurs.

La préoccupation de réduction du risque à la source peut conduire dans les configurations critiques en terme d'enjeux à une modification progressive de ces systèmes avec passage en système indirect.

2.4.1.1.4 A6 – Chambres et systèmes de réfrigération

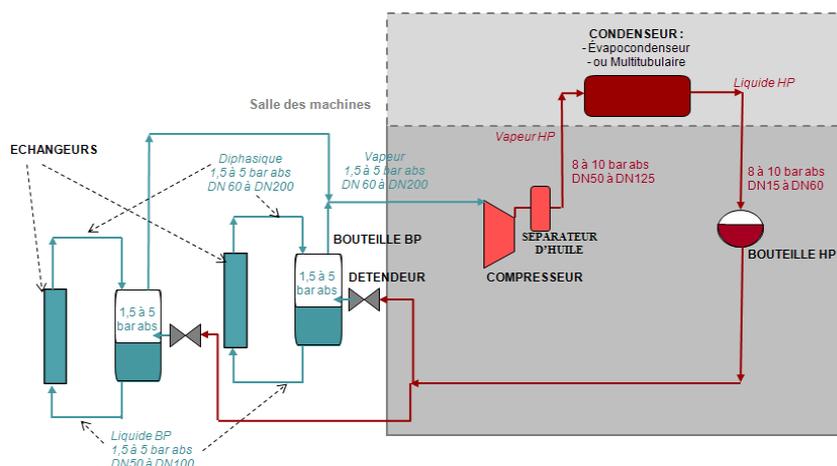


Figure 9 : Chambres et systèmes de réfrigération

Ce schéma n'est plus utilisé actuellement car il met en œuvre des échangeurs noyés directement alimentés par des bouteilles BP locales ; ces bouteilles sont alors à l'extérieur de la salle des machines. L'ammoniac n'est pas confiné dans la salle des machines et des quantités relativement importantes peuvent se situer dans les bouteilles locales.

La volonté de réduction du risque à la source conduit à la suppression de ces systèmes.

2.4.1.1.5 A2 – Cas particulier de la patinoire

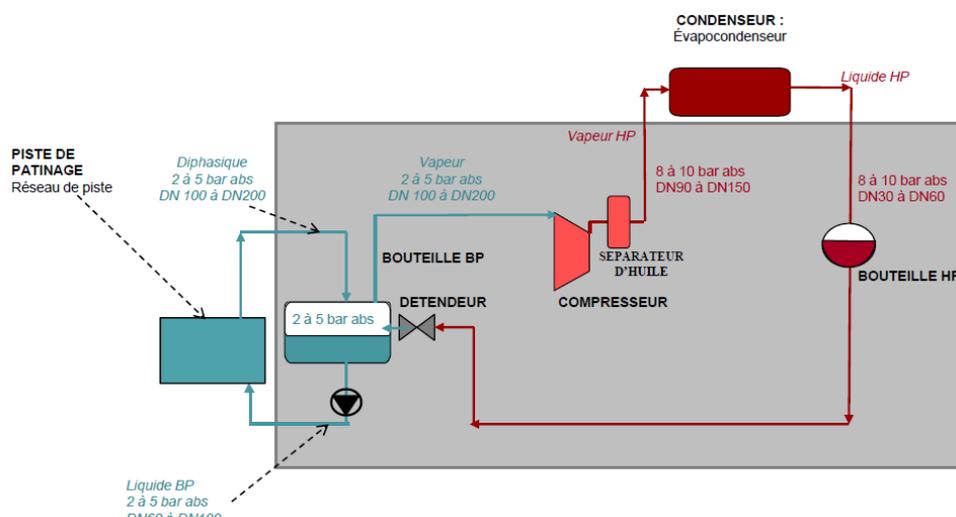


Figure 10 : Cas particulier de la patinoire

Le schéma des pistes de patinage est proche du schéma classique relatif aux chambres à produits réfrigérés. L'utilisateur (piste de patinage) est situé à l'extérieur de la salle des machines. Les pistes sont alimentées en ammoniac via une pompe en aval de la bouteille BP.

L'ammoniac n'étant pas confiné à la salle des machines, des fuites sont possibles le long des cheminements de tuyauteries ou au niveau des utilisateurs.

Note : cette configuration tend à disparaître, l'ammoniac étant remplacé par un autre fluide (alcali ou eau glycolée). Selon la quantité d'ammoniac, ce schéma peut ne pas être autorisé par la norme NF EN 378 (limitation de la charge en cas d'évaporateur dans des zones occupées).

2.4.1.2 Congélation / surgélation

Un compresseur bi-étagé est nécessaire pour assurer la montée en pression. En pratique, la pression au refoulement du compresseur peut-être plus élevée que celle indiquée sur les schémas, pour assurer la condensation en période de chaleur ; ainsi, en été, la pression au refoulement du compresseur peut atteindre 13,5 bar abs (correspondant à une température d'équilibre de 35°C).

Les schémas ne font apparaître que des condenseurs évaporatifs. Cependant, suite à des considérations de réduction du risque à la source, les échangeurs évaporatifs peuvent être remplacés par des condenseurs à plaques qui peuvent alors être installés dans la salle des machines. Le rendement de l'installation est alors dégradé (par utilisation d'un fluide intermédiaire constitué par de l'eau) si bien que cette configuration est souvent réservée aux installations en milieu urbain.

Des systèmes dits « superfeed » permettent d'assurer le taux de compression avec un seul niveau de compression ; dans ce cas, le compresseur est alimenté à deux niveaux de pression : BP et MP.

La bouteille HP ne se trouve pas dans toutes les configurations. Elle tend à disparaître, ce qui réduit la quantité d'ammoniac HP dans les installations.

2.4.1.2.1 A5 – Chambres à produits congelés

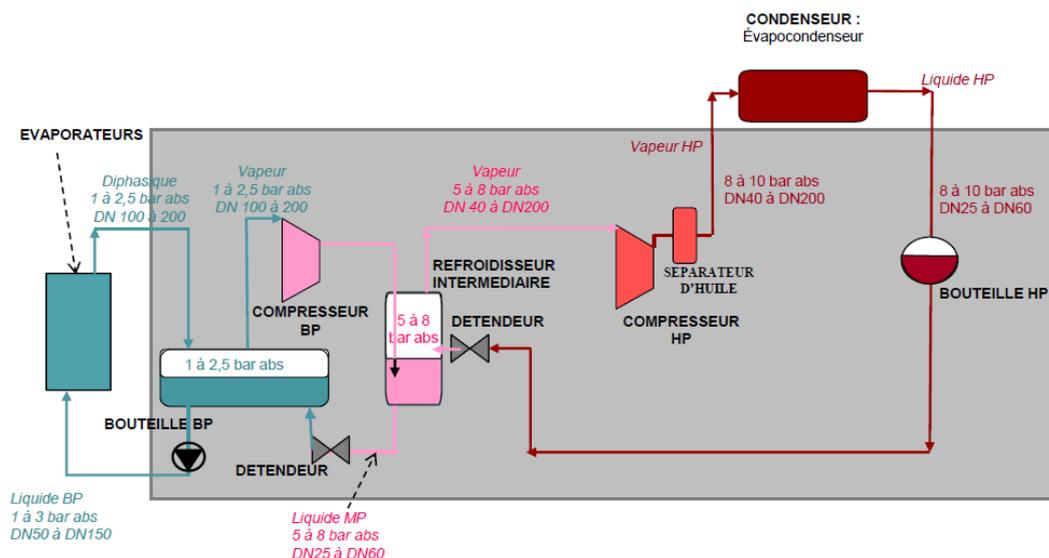


Figure 11 : Chambres à produits congelés

Ce schéma est un schéma classique dans lequel les utilisateurs (chambres froides) sont situés à l'extérieur de la salle des machines. Ils sont alimentés en ammoniac via une pompe en aval de la bouteille BP. L'ammoniac n'étant pas confiné à la salle des machines, des fuites sont possibles le long des cheminements de tuyauteries (souvent en combles techniques) ou au niveau des utilisateurs.

La volonté de réduction du risque à la source conduit à une modification progressive de ces systèmes avec passage en systèmes indirects.

2.4.1.2.2 A5 – Chambres et systèmes de congélation

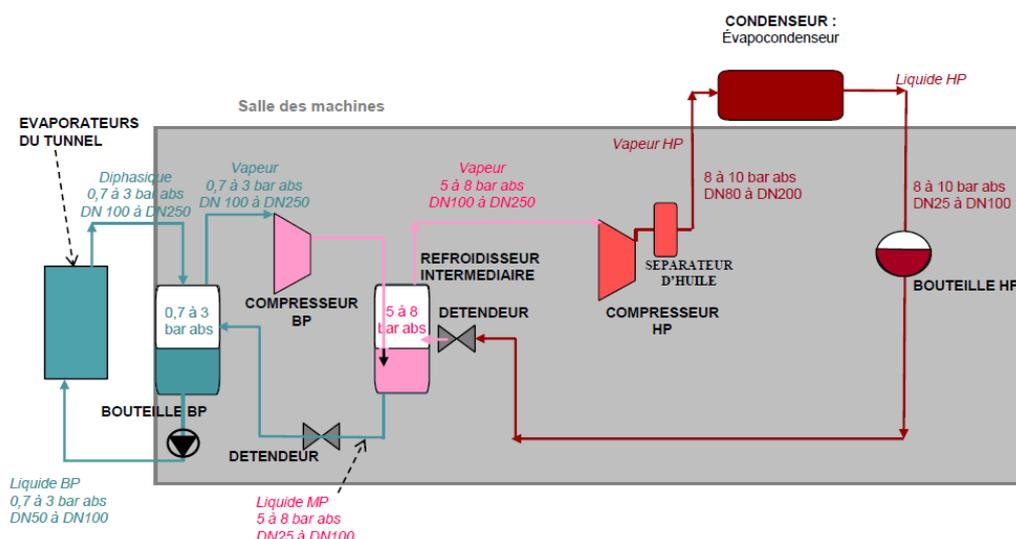


Figure 12 : Chambres et systèmes de congélation

Ce système est identique au précédent dans son principe. La position verticale ou horizontale de la bouteille ne dépend que de la géométrie de la salle des machines et des contraintes d'installation / exploitation.

La volonté de réduction du risque à la source conduit à une modification progressive de ces systèmes avec passage en systèmes indirects.

2.4.1.2.3 Chambres de surgélation / congélation – systèmes « superfeed »

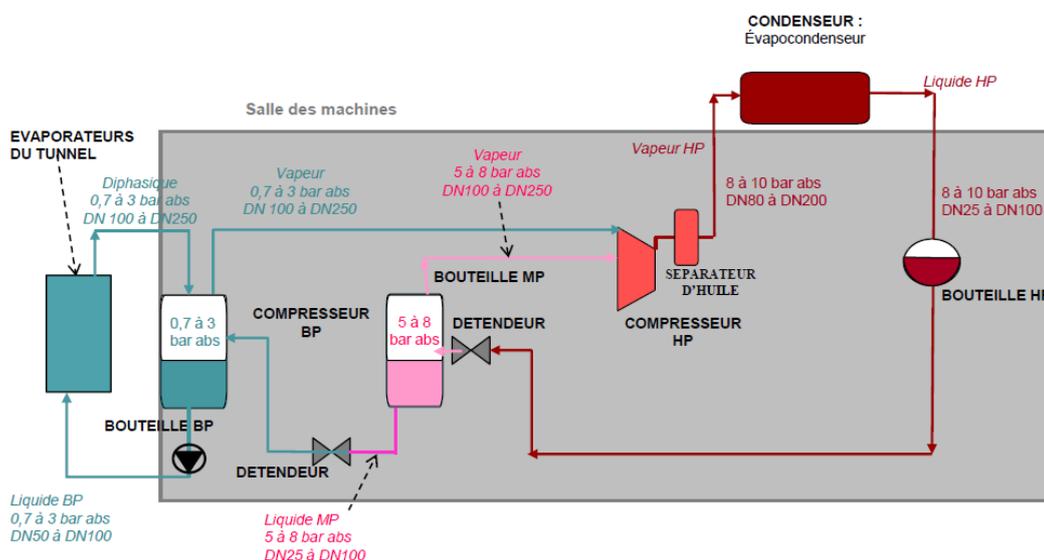


Figure 13 : Chambres de surgélation / congélation – systèmes « superfeed »

Ce schéma correspond à la configuration dans laquelle le compresseur est alimenté à deux niveaux de pression BP et MP.

2.5 QUELQUES CARACTERISTIQUES IMPORTANTES

Ce chapitre présente des valeurs guides de caractéristiques des installations. Elles sont fournies pour apporter des éléments de comparaison et de réflexion avec l'installation étudiée. Les valeurs réelles sont à adapter au cas par cas.

2.5.1 Quantité totale d'ammoniac

Les installations de réfrigération d'ammoniac contiennent des quantités de plus en plus réduites d'ammoniac, dans un objectif de réduction du risque à la source.

Il y a une trentaine d'années, des installations (telles que des brasseries) pouvaient contenir plusieurs dizaines de tonnes d'ammoniac. A ce jour plus de 90% des installations contiennent moins de 3,5 tonnes d'ammoniac. Il reste encore des systèmes avec de grandes quantités d'ammoniac. La durée de vie de telles installations est de 30 à 40 ans.

Un ratio de 2 à 2,5 kg d'ammoniac par kW frigorifique (pour un besoin de froid à -25°C) est usuel dans les installations et correspond à une installation bien conçue. Ce ratio (moyen) est différent selon les installations :

- en particulier, il augmente lorsque la température des besoins diminue : pour des besoins de -10°C, le ratio est de l'ordre de 0,5 à 1 kg par kW frigorifique ;
- il diminue dans le cas d'installations en cascade (utilisant partiellement d'autres fluides que l'ammoniac).

2.5.2 Répartition entre les installations HP et BP

Un ordre de grandeur de la répartition d'ammoniac dans les différentes parties du système est donné dans le tableau ci-dessous :

Pressions	Répartition massique d'ammoniac
HP	5%
MP	10%
BP	85%

Tableau 3 : Ordre de grandeur de la répartition de l'ammoniac dans une installation

2.5.3 Rechargement en ammoniac

Les opérations usuelles d'exploitation des installations (vidange d'huile tous les 15 jours à 1 mois, purge des incondensables², nettoyage des filtres à huile des compresseurs...) conduisent à des opérations de rechargement d'ammoniac sur les installations.

Le taux de rechargement d'ammoniac annuel « normal » est de l'ordre de 3% de la quantité maximale d'ammoniac. Le rechargement est effectué classiquement tous les ans ou tous les 2 ans. La procédure de rechargement est généralement effectuée en connectant une bouteille de 43 kg à l'installation, via un flexible.

² Les incondensables résultent de l'entrée d'air dans le circuit, lorsque la pression côté utilisateur est inférieure à la pression atmosphérique.

Le taux dépend des technologies retenues :

- sur les nouvelles installations, l'huile est réintégrée de manière automatique vers le compresseur, ce qui limite la quantité d'ammoniac perdue ;
- les installations fonctionnant à des pressions basses (exemple des installations de production de glace) peuvent avoir des entrées d'air plus importantes. L'utilisation de désaérateurs avec purges automatiques³ permet de limiter la quantité d'ammoniac perdue, sous réserve d'un bon réglage. A défaut, le taux de rechargement peut atteindre 15%.

Le poste de chargement comprend une prise avec un robinet (avec vanne à contrepoids) et un raccord en attente. Mais la position de ce poste varie d'une installation à l'autre. Le raccord permet la liaison par flexible (diamètre < 25 mm) à une bouteille d'ammoniac liquide (43 kg). Un clapet anti-retour est installé côté installation (pour éviter le retour d'ammoniac de l'installation vers les bouteilles).

Note : pour le remplissage initial de l'installation, des containers d'ammoniac (450 kg) sont généralement utilisés.

2.5.4 Débits d'ammoniac dans le circuit HP et BP

Le débit dans la partie HP du système est déterminé par le débit du compresseur. Ce débit varie selon les installations. L'ordre de grandeur est de 0,1 à 0,5 kg/s (soit de 360 à 1800 kg/h).

Le débit dans la partie BP du système est déterminé par le débit des pompes de circulation à l'aval des bouteilles BP. Ce débit varie selon les installations. L'ordre de grandeur du débit est de 0,5 à 1,5 kg/s (soit de 1800 à 5400 kg/h).

3. CARACTERISTIQUES DES PRINCIPAUX EQUIPEMENTS

3.1 COMPRESSEURS

3.1.1 Principe des compresseurs

L'objectif des compresseurs est :

- d'aspirer les vapeurs formées dans l'évaporateur ;
- de comprimer le gaz jusqu'à la pression de condensation ;
- de refouler les vapeurs jusqu'au condenseur.

Il existe deux grandes catégories de compresseurs : les volumétriques et les centrifuges. Les compresseurs centrifuges ne sont pas utilisés pour l'ammoniac. Seuls sont utilisés les compresseurs volumétriques qui peuvent être à pistons, à vis et à spirales ou à palettes.

Selon les installations, ces compresseurs sont équipés d'un système de régulation de puissance.

Selon le taux de compression requis, la compression pourra s'effectuer en un ou deux étages. Si l'écart de pression entre la « basse pression » et la « haute pression » est de plus de 14 bars, deux étages de compression peuvent être requis, selon la technologie des compresseurs :

- un compresseur à vis simple étage peut être utilisé ; mais un refroidissement de l'huile sera nécessaire (forte montée en température) ;
- deux étages sont théoriquement nécessaires pour des compresseurs à pistons. Mais des systèmes dits « superfeed » existent dans lesquels le seul compresseur est alimenté en deux niveaux : un étage BP et un étage MP.

³ Un groupe froid spécifique condense d'ammoniac du mélange ammoniac-air et le renvoie dans le circuit. L'air est envoyé dans un bassin.

Lorsque l'installation fonctionne en HP flottante en régulation, la pression au refoulement est variable selon la température de bulbe humide. Cette régulation permet d'optimiser le rendement des installations.

Un groupe compresseur (cf. réf.[1]) est un ensemble comprenant un compresseur, son moteur d'entraînement et des accessoires, pré-assemblés en usine sur un châssis commun. On trouve trois types de compresseurs :

- **Motocompresseur hermétique** (carter étanche, non démontable... ; pas de parties mobiles sortant du carter) ;
- **Motocompresseur hermétique accessible** (carter étanche avec des joints boulonnés permettant le démontage en service ; de parties mobiles sortant du carter) ;
- **Motocompresseur ouvert** : le compresseur et le moteur ne sont pas dans le même carter. Il y a donc une garniture d'étanchéité à la sortie du compresseur. Ces compresseurs sont employés dans les industries de moyenne ou grande puissance (installation industrielle, tunnel de surgélation...). L'entraînement est assuré par un accouplement entre le compresseur et son moteur qui peut être :
 - soit direct (nécessite un alignement précis) ;
 - soit par transmission par courroie à l'aide de poulies.

3.1.2 Séparateur d'huile

Un séparateur d'huile est une capacité se trouvant au refoulement du compresseur et permettant de séparer l'huile utilisée pour la lubrification du compresseur et le fluide frigorigène. Cette séparation est nécessaire pour l'ammoniac car ce fluide est peu miscible avec l'huile.

Cependant l'huile ne peut pas être totalement séparée ; elle se retrouve partiellement dans le circuit frigorifique.

Un refroidisseur d'huile est indispensable pour refroidir l'huile qui s'échauffe dans le compresseur, en particulier pour les compresseurs à vis (qui tournent très vite). Le refroidissement peut être de 4 types :

- par injection directe du fluide frigorigène sur le compresseur ;
- par un échangeur refroidi par l'air ;
- par un échangeur refroidi par l'eau ;
- par un échangeur refroidi par le fluide frigorigène ou thermo-siphon.

3.1.3 Sécurité sur le compresseur

Les principales sécurités sur un compresseur sont les pressostats BP et HP, une soupape sur le séparateur d'huile, un pressostat différentiel de pression d'huile.

La réglementation relative aux compresseurs est constituée de trois textes en vigueur :

- **l'arrêté du 15 janvier 1962** (modifié en 1966 et 1983) : « réglementation des compresseurs volumétriques » ; y sont soumis les compresseurs d'ammoniac lorsque les conditions suivantes sont requises :
 - Pression refoulement $P_r > 10$ bars ;
 - et produit « pression refoulement » par « débit de refoulement en m^3 /minute » : $P_r \times V_r > 50 \text{ bars} \cdot m^3/\text{minute}$.

Les marches conventionnelles sont :

- aspiration P_0 = pression de saturation à -10°C ;
- refoulement PMS = pression de saturation à $+40^\circ\text{C}$.

Les organes de sécurité suivants doivent être présents :

- **manomètres en aval** de chaque étage et au refoulement ; si de plus le compresseur n'aspire pas à la pression atmosphérique, il doit être muni d'un manomètre de contrôle de la pression d'aspiration et d'un dispositif signalant toute diminution dangereuse de cette pression ;
- **organe de sécurité limitant la pression** (soupapes...) ;
- **dispositif approprié pour éviter l'apparition d'une surpression dangereuse** dans les carters des compresseurs à piston et **assurer éventuellement l'évacuation du débit de fluide** susceptible de pénétrer dans ces carters ;

Note : par ailleurs, la norme NF EN 378 conseille le pressostat haute pression.

D'autre part, si les compresseurs aspirent plus de 2 m³/mn, ils doivent satisfaire aux conditions ci-après :

- « a) Le taux de compression volumétrique de chaque étage ne doit pas dépasser 4 ; [...]
 - c) Le refoulement doit être équipé d'un refroidisseur déshuileur ; [...]
 - e) Si le refroidissement intermédiaire ou final est réalisé à l'eau et en l'absence d'un dispositif thermostatique d'arrêt, il doit être conçu et aménagé de façon que le personnel de conduite soit immédiatement averti de toute interruption de la circulation de l'eau. »
- **l'arrêté du 25 avril 1979** : « interdiction d'emploi de certains compresseurs frigorifiques » ; hormis les compresseurs hermétiques, les compresseurs frigorifiques volumétriques doivent être munis d'un **dispositif anti-coup de liquide**.
 - **L'arrêté du 26 juillet 1962** : « réglementation des compresseurs autres que volumétriques ». les compresseurs à l'ammoniac (volumétriques) ne sont pas concernés par ce texte.

3.2 CONDENSEUR

L'objectif du condenseur est :

- d'évacuer la chaleur fournie par le compresseur et les évaporateurs ;
- de condenser l'ammoniac.

La condensation varie en fonction de la température ambiante. Ainsi, la pression est généralement régulée en fonction de la température ambiante, ce qui permet de réduire la pression lors des basses températures et d'améliorer le rendement de l'installation.

Les principales sécurités relatives au condenseur sont des sécurités visant à vérifier la marche du condenseur (niveau d'eau et marche pompe) et à limiter la surpression (soupapes).

Il y a trois types de condenseur :

- condenseur à air ;
- condenseur évaporatif (air + eau) ;
- à eau (généralement associé à une tour de refroidissement).

Le choix du mode de condensation dépend de différents facteurs (fluide utilisé, puissance de l'installation, conditions climatiques locales, fourniture et prix de l'eau).

3.2.1 Condenseur à air

Il s'agit d'échangeurs possédant des tubes à ailettes de petit diamètre intérieur (environ 15 mm).

Ces échangeurs présentent des inconvénients :

- non confinement de l'ammoniac (l'échangeur est nécessairement placé à l'extérieur) ;
- dimensionnement devant tenir compte de la température maximale de l'air en été (qui peut être importante), ce qui peut conduire à des pressions plus élevées qu'avec les autres types de condenseurs.

3.2.2 Condenseur évaporatif

La condensation s'effectue dans un condenseur de type évaporatif à ruissellement d'eau refroidi par air.

Ces échangeurs présentent des inconvénients :

- non confinement de l'ammoniac (l'échangeur est nécessairement placé à l'extérieur) ;
- problème de légionellose possible.

3.2.3 Condenseur à eau

Les condenseurs à eau peuvent être de deux technologies :

- échangeur à plaques ;
- échangeur tubes et calandres

Ces échangeurs présentent l'avantage de pouvoir être installés à l'intérieur. Les échangeurs étant plus compacts, ils sont préférentiellement installés car ils permettent aussi de réduire la capacité d'ammoniac dans l'échangeur.

L'échange de chaleur se faisant avec de l'eau, la température de condensation est réduite avec ces échangeurs à eau.

Mais il est ensuite nécessaire de refroidir l'eau qui s'est échauffée en condensant l'ammoniac. L'eau est alors refroidie sur des aéroréfrigérants (système fermé) ou sur des tours de refroidissement (système ouvert avec problème de légionellose potentiel).

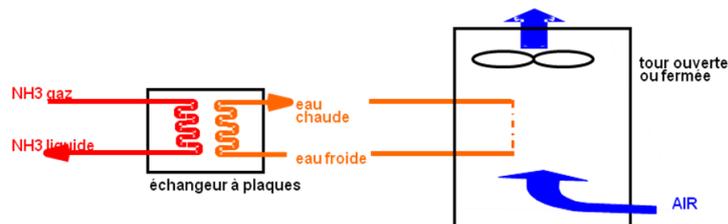


Figure 14 : Condenseur à air et évaporatifs

3.3 PURGEUR D'INCONDENSABLES

Des gaz incondensables s'accumulent dans la partie HP du circuit et conduisent à une montée en pression au condenseur et au refoulement du compresseur. Des purgeurs automatiques doivent assurer la purge du circuit sans rejet d'ammoniac.

3.4 BOUTEILLES HP

3.4.1 Principe

La bouteille HP, contenant le liquide sous « haute pression », est installée en aval du condenseur. Son rôle est d'assurer une capacité tampon entre la quantité provenant du condenseur et celle nécessaire à l'évaporateur pour la production de froid (cas d'absence de ballon séparateur BP).

Dans le cas particulier des compresseurs à vis, ce réservoir peut également être utilisé pour assurer le refroidissement d'huile.

3.4.2 Exemple de bouteilles HP

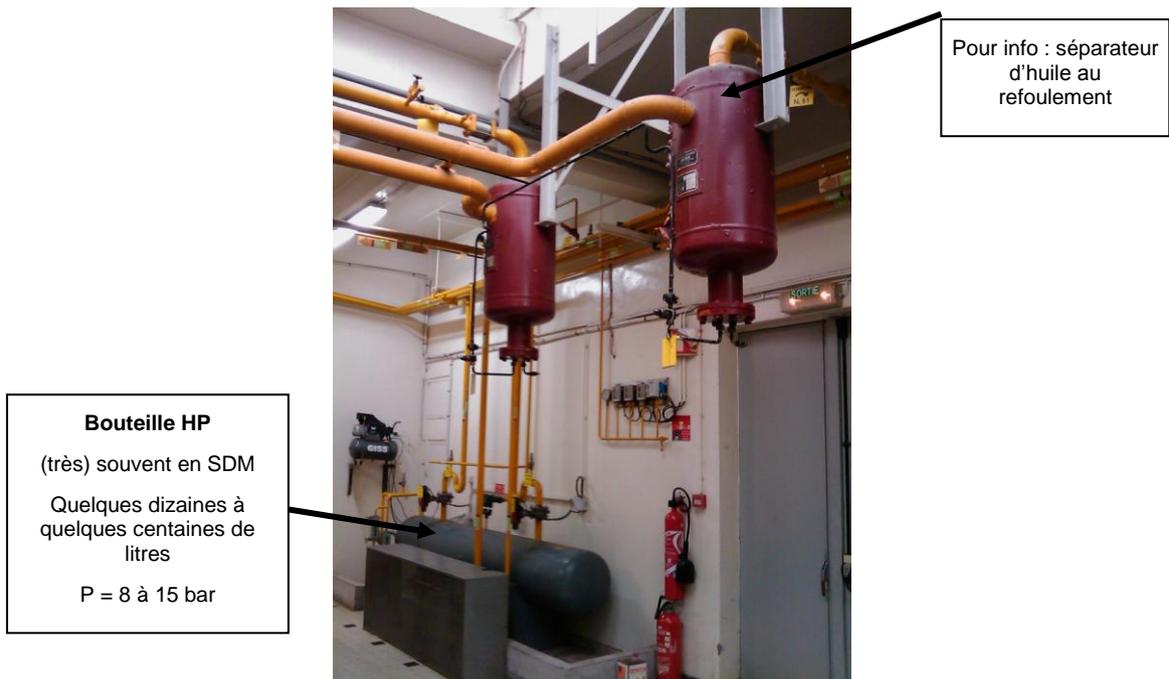


Figure 15 : Exemple de bouteille HP – Source Maison du Froid Conseil

La bouteille HP présentant un potentiel de danger important, la tendance actuelle est, dans la mesure du possible, de les supprimer.

3.5 DETENDEUR

Il s'agit d'un organe de détente destiné à faire passer le fluide frigorigène de la pression de condensation à une pression inférieure. Selon les installations, cette pression peut être :

- une pression intermédiaire ou « moyenne pression » ;
- une pression d'évaporation ou « basse pression ».

Le réglage de cet organe conditionne le fonctionnement des installations.

Cet organe de détente peut être un détendeur, un régleur, un flotteur ou un purgeur.

3.6 BOUTEILLES MP

3.6.1 Principe

Il s'agit d'un réservoir de fluide frigorigène sous forme liquide et vapeur et se trouvant à « moyenne pression ». Il peut s'agir de :

- une bouteille intermédiaire en cours de compression d'une installation à deux niveaux de compression ;
- une capacité tampon pour distribution à température moyenne (réfrigération, climatisation...) ;
- une capacité séparatrice liquide-vapeur ;
- une bouteille de sur-alimentation pour une installation avec un compresseur à vis se nommant aussi « superfeed » ou « économiseur ».

3.6.2 Exemple de bouteille MP



Bouteille séparatrice MP

Souvent verticale
Toujours en SDM
Quelques centaines de litres
P = 3 à 5 bar

Bon compromis :

$$P_i = \sqrt{P_k P_0}$$

Figure 16 : Exemple de bouteille MP – source Maison du Froid Conseil

3.7 BOUTEILLE SEPARATRICE BP

3.7.1 Principe

La bouteille « basse pression » assure un rôle de capacité tampon pour la distribution en basse température (congélation, surgélation...). Elle assure une réserve de charge en cas de fluctuation de régime.

La bouteille BP est dimensionnée pour recueillir le volume total de liquide en fonctionnement normal et aussi en phase de maintenance.

Elle assure également la séparation liquide-vapeur. Elle permet d'éviter l'aspiration de liquides (y compris gouttelettes) au niveau du compresseur. Seules les vapeurs saturantes sont aspirées au compresseur.

Elle assure aussi la séparation de l'huile de l'ammoniac. L'huile s'accumule en fond des capacités. Une purge (manuelle avec robinet à contrepoids ou automatique avec retour à l'aspiration des compresseurs) permet de récupérer l'huile.

Un pot de récupération d'huile séparé du ballon peut exister si la pression dans le séparateur BP est inférieure à la pression atmosphérique.

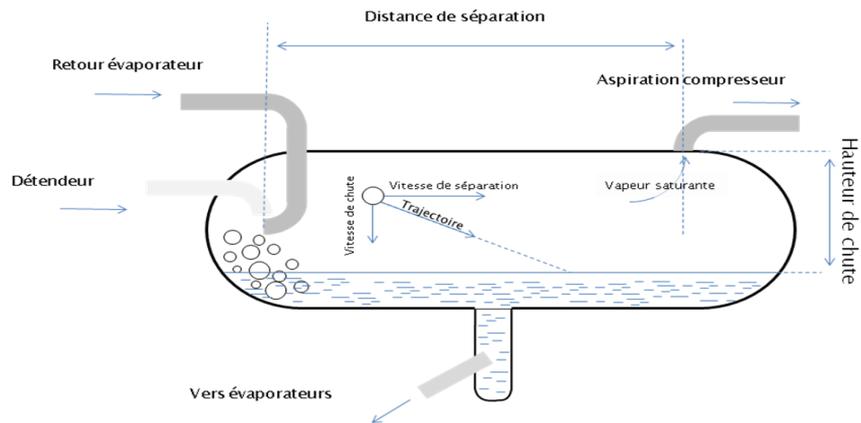


Figure 17 : Schéma d'une bouteille BP – Source Maison du Froid Conseil

3.7.2 Exemple de bouteille séparatrice



Bouteille séparatrice BP

Souvent horizontale

Toujours en SDM

Quelques m³

Taux de remplissage liquide :

5 à 50%

(10-15%)

P = 0,8 à 5 bar

pour info : pompes de recirculation)

Figure 18 : Exemple de bouteille BP – Source Maison du Froid Conseil

3.8 BOUTEILLE ANTI-COUP DE LIQUIDE

Une bouteille anti coup de liquide est une capacité située en amont du compresseur dont le rôle est de piéger les éventuelles gouttelettes de liquide afin de protéger le compresseur. Elle doit comporter un moyen de revaporiser le liquide séparé.

3.9 EVAPORATEUR

3.9.1 Principe

C'est un échangeur thermique dans lequel le fluide frigorigène liquide, après détente ou abaissement de sa pression partielle, est évaporé en prélevant de la chaleur dans un milieu à refroidir. Ce type de production de froid se nomme détente directe (échangeur ammoniac dans le milieu à refroidir, sans fluide intermédiaire).

Les évaporateurs sont de trois types :

- ouverts (cubiques ou double flux) avec ou sans diffuseurs, sur les installations de réfrigération, les quais climatisés, les chambres froides de petite taille ;
- fermés (caissons) pour les chambres froides de grande taille ;
- refroidisseurs de fluide pour d'autres applications (multitubulaires, coaxiaux, plaques...). On trouve des échangeurs multitubulaires de trois types :
 - les évaporateurs immergés : constitués de tubes lisses contenant l'ammoniac, reliés par des collecteurs, et immergés dans un bac en acier ou en béton ; l'accumulation de froid s'effectue par la formation de glace sur les tubes. La circulation d'eau permet la restitution du froid en fonction des besoins. Ces échangeurs contiennent une quantité importante d'ammoniac, ce qui tend à en réduire l'utilisation ;
 - les évaporateurs multitubulaires « secs » ou « à surchauffe » ou « dry-ex » : l'ammoniac est vaporisé dans les tubes. Il se pose le problème de l'accumulation d'huile dans l'évaporateur, ce qui nécessite l'emploi d'huile miscible avec l'ammoniac ;
 - les évaporateurs multitubulaires « noyés » ou « à regorgement » : l'ammoniac circule dans la calandre ; un collecteur recueille les vapeurs et assure la séparation des gouttelettes avant envoi au compresseur. L'huile doit être purgée régulièrement par des robinets à contrepoids, des systèmes automatiques avec retour direct vers les compresseurs ou par des systèmes avec pot intermédiaire dans le cas où la pression dans l'évaporateur est inférieure à la pression atmosphérique.

3.9.2 Dégivrage (réf. [1])

Les évaporateurs doivent être dégivrés. Il existe quatre types principaux de dégivrage : par air, par eau, par gaz chauds, électrique (cannes chauffantes ou air chaud à convection forcée).

3.9.3 Aérofrigorigère (réf. [1])

Il s'agit d'un échangeur thermique dans lequel circule un fluide frigoporteur préalablement refroidi et qui absorbe de la chaleur au milieu extérieur sans changement d'état (exemple : eau glycolée). Ce type de production de froid s'appelle « échange indirect ».

3.10 SYSTEMES DE DISTRIBUTION DE L'AMMONIAC

L'alimentation de l'évaporateur est assurée par deux types de systèmes (cf. réf [2]) :

- **les systèmes à détente directe** : les évaporateurs « secs » ou « à surchauffe » sont directement alimentés en frigorigène par un détendeur placé à leur entrée ; une certaine surchauffe (3°C à 8°C) des vapeurs est assurée en sortie pour avoir de la vapeur sèche en sortie d'évaporateur ;
- **les systèmes à détente indirecte** : le système est alimenté par thermosiphon ou pompes BP.

3.10.1 Systèmes à détente directe

3.10.1.1 Détendeur thermostatique

Ce système est constitué par un corps de robinet renfermant un orifice calibré obturé par un pointeau dont la position dépend de la pression d'aspiration et de la surchauffe du fluide frigorigène.

Pour diverses raisons (difficulté de réglage, givrage important, mauvaises adaptations aux fluctuations de charge...), ce système est peu utilisé pour l'ammoniac.

3.10.1.2 Détendeur multiorifices

Le principe est le même que le détendeur thermostatique sauf qu'il est composé de trois orifices permettant une meilleure adaptation aux fluctuations de charges.

Ce système est également peu utilisé pour l'ammoniac.

3.10.1.3 Détendeur électrique

La section de passage de l'orifice est constante mais les durées d'ouverture et fermeture sont gérées par un régulateur électrique en fonction des deux paramètres : température de surchauffe et température d'évaporation.

Ce type de détendeur permet une fluctuation des charges et sert aussi de robinet électrique d'arrêt.

Il est utilisé pour l'ammoniac mais une protection du compresseur (piège à liquide) est nécessaire et la récupération de l'huile est également requise.

Les applications sont :

- évaporateurs refroidisseurs d'air ;
- évaporateurs refroidisseurs de liquide de type intratubulaire ;
- évaporateurs à plaques.

3.10.2 Systèmes à détente indirecte

3.10.2.1 Par système thermosiphon gravitaire diphasique ou « regorgement »

Un ballon séparateur basse pression de liquide est placé en charge au dessus des évaporateurs. Le liquide basse pression est envoyé dans les évaporateurs par une tuyauterie verticale ; les vapeurs et liquides en excès (mélange diphasique) retournent au séparateur. La séparation du liquide et des vapeurs est assurée dans le ballon séparateur.

Ce système nécessite que les différents évaporateurs soient situés dans une même enceinte, avec des charges thermiques identiques.

Il permet une bonne protection du compresseur contre les coups de liquide et permet de mouiller parfaitement la surface interne de l'évaporateur.

Ce système est usuel avec de l'ammoniac pour des utilisations en entrepôts frigorifiques, stations fruitières, tunnel de congélation et échangeurs à plaques refroidisseurs de liquides.

3.10.2.2 Par pompe BP

Comme dans le système thermosiphon gravitaire, un ballon séparateur basse pression alimente les évaporateurs mais l'alimentation n'est plus gravitaire mais est assurée par des pompes basse pression.

Ce système est très répandu dans les installations industrielles.

ANNEXE 2

Caractéristiques de l'ammoniac

Ce chapitre vise à fournir des compléments d'informations relatifs aux propriétés de l'ammoniac.

Il peut être consulté pour apporter des compléments dans l'étude de dangers sur l'incompatibilité des substances...

1. PROPRIETES CHIMIQUES DE L'AMMONIAC

1.1 GENERALITES

L'ammoniac est identifié de la manière suivante (cf. Tableau 4) :

Nom	Ammoniac anhydre
Numéro CAS	7664-41-7
Numéro CEE	007-001-00-5
Code de danger RTMD	268
Numéro ONU	1005
Formule chimique	NH ₃
Masse molaire	17,03 g

Tableau 4 : Généralités sur l'ammoniac

Dans les conditions normales de température et de pression (c'est-à-dire à 25°C et à 1,013 bar), l'ammoniac se trouve à l'état gazeux. Il est incolore, plus léger que l'air et son odeur est vive.

1.2 DONNEES THERMODYNAMIQUES

Les principales données thermodynamiques de l'ammoniac sont les suivantes :

- Point de fusion = - 77,7°C
- Point d'ébullition = -33,4°C à 1,013 bar
- Pression de vapeur saturante en fonction de la température (cf. Tableau 5)

Température (°C)	-77,7	-33,4	0	20	30
Pression abs. (bar)	0,061	1,013	4,29	8,56	11,66

Tableau 5 : Pression de vapeur saturante

- Température critique = 132,4°C
- Pression critique = 114,8 bar
- Chaleur de fusion = 323,3 kJ/kg (à 1,013 bar)
- Chaleur de vaporisation = 1210 kJ/kg à -15°C et 1370 à -33,4°C
- Viscosité dynamique du liquide = 10,225 mPa.s à -33,4°C

1.3 SOLUBILITE DE L'AMMONIAC DANS L'EAU

L'ammoniac est très soluble dans l'eau. Le Tableau 6 renseigne la solubilité de l'ammoniac en fonction de la température [WHO, 1986] :

Température (°C)	0	20	40	60
Solubilité (g/L)	895	529	316	168

Tableau 6 : Solubilité de l'ammoniac dans l'eau

Par ailleurs, cette dissolution de l'ammoniac dans l'eau est fortement exothermique : 2000 kJ par kg d'ammoniac dissous dans l'eau.

1.4 DENSITE ET MASSE VOLUMIQUE

En phase gazeuse, l'ammoniac a une masse volumique de 0,772 kg/m³ à 0°C et de 0,610 kg/m³ à 20°C, soit une densité de 0,597 par rapport à l'air.

En phase liquide, la masse volumique de l'ammoniac est fonction de la température, tel que reporté dans le Tableau 7.

Température (°C)	-40	-33,4	-20	-10	0	10	20	30	50	100
Masse volumique de l'ammoniac liquide (kg/m³)	690	679	659	647	634	621	607	592	558	452

Tableau 7 : Masse volumique de l'ammoniac liquide

1.5 INFLAMMABILITE – EXPLOSIVITE

1.5.1 Limites d'explosivité

Selon les sources, les limites d'explosivité peuvent varier légèrement mais il est généralement admis que la limite inférieure d'explosivité (ou LIE) est égale à 16% v/v et la limite supérieure d'explosivité (ou LSE) à 25% v/v⁴. Toutefois, une étude indique que la LIE peut être réduite de 4% v/v pour un aérosol d'huile et d'ammoniac comme, par exemple, dans le cas d'une fuite simultanée de lubrifiant [12].

1.5.2 Température d'auto-inflammation

La température d'auto-inflammation correspond à la température à partir de laquelle le mélange gazeux d'air et d'ammoniac est le siège d'une réaction d'oxydoréduction suffisamment rapide pour qu'une flamme apparaisse spontanément et se propage dans tout le mélange. Elle est habituellement prise à 650°C.

1.5.3 Energie minimale d'inflammation

L'énergie minimale d'inflammation, ou la quantité de chaleur minimale à mettre en jeu localement pour enflammer le mélange gazeux d'air et d'ammoniac, est plus délicate à quantifier. Cette énergie minimale d'inflammation peut varier de quelques dizaines à plusieurs centaines de mJ pour l'ammoniac.

⁴ Fiche toxicologique n°16 de l'INRS

1.5.4 Vitesse fondamentale de flamme

La vitesse fondamentale de flamme détermine la vitesse de propagation de la flamme. Pour un mélange gazeux constitué d'air et d'ammoniac à 23% v/v, cette vitesse fondamentale est de 0,07 m/s.

1.5.5 Agents extincteurs

Dès lors que de l'ammoniac liquide peut être localement présent, les agents extincteurs à utiliser sont uniquement le CO₂ ou les poudres. En effet, le contact de l'eau sur l'ammoniac liquide communique de la chaleur à ce dernier et favorise sa vaporisation.

1.6 REACTION AVEC DES CONTAMINANTS

1.6.1 Halogènes et interhalogènes

Les halogènes (fluor, chlore, brome, iode) réagissent vivement sur l'ammoniac et ses solutions. Des réactions explosives peuvent également avoir lieu avec les produits suivants : acétaldéhyde, acide hypochloreux, ferricyanure de potassium. Il se produit des composés explosifs tels que les trihalogénures d'azote.

Par exemple ;

- avec le chlore, Cl₂, les mélanges sont explosifs s'ils sont chauffés ou si le chlore est en excès, à cause de la formation de trichlorure d'azote,
- avec du pentafluorure de brome, BrF₅, des explosions sont probables.

1.6.2 Métaux lourds

L'ammoniac est capable de réagir avec quelques métaux lourds (argent, or, mercure...) pour produire des matériaux qui peuvent exploser violemment quand ils sont séchés ;

- avec du chlorure d'or, AuCl₃, sous une large variété de conditions, la présence d'ammoniac conduit à des composés explosifs ou fulminants qui explosent quand ils sont chauffés,
- avec les oxydes d'argent, AgO, Ag₂O, il y a formation de composés explosifs,
- avec du mercure, Hg, la réaction donne des produits qui sont fortement explosifs et qui détonent facilement. On ne doit pas utiliser d'instrument contenant du mercure si celui-ci peut entrer en contact avec de l'ammoniac [BIT, 1993].

1.6.3 Oxydants et peroxydes

L'ammoniac réagit sur de nombreux oxydes et peroxydes : le peroxyde de chlore à froid, l'anhydrique iodique à chaud, les perchlorates qui donnent lieu à une réaction violente vers 250°C. Le mélange d'un composé oxydant et d'ammoniac liquéfié peut exploser sous l'effet d'un choc.

Par exemple ;

- avec le peroxyde d'hydrogène, H₂O₂, de l'ammoniac dissous dans 99,6% de peroxyde donne une solution instable qui explose violemment,
- avec le chlorure de nitryle, ClNO₂, l'interaction est très violente, même à -75°C,
- avec le difluorure de trioxygène, F₂O₃, la réaction peut causer des inflammations et des explosions, même à -183°C. Avec de l'ammoniac solide, il réagit pour donner des inflammations ou des explosions,
- avec de l'oxygène, O₂, s'ils sont mis en contact dans un appareil réfrigérant, il peut y avoir une explosion. De plus, en présence d'ammoniac, l'oxygène peut accélérer ou provoquer de la corrosion.

1.6.4 Acides

Avec certains acides, des réactions violentes sont observés telles que :

- avec l'acide hypochloreux pur, HClO, l'ammoniac sous forme gazeuse explose à son contact et libère du chlore,
- avec l'acide nitrique, HNO₃, un jet d'ammoniac brûle dans une atmosphère d'acide nitrique.

1.6.5 Autres aspects

L'ammoniac peut aussi causer des réactions incandescentes, par exemple :

- avec le bore, B, chauffé dans une atmosphère d'ammoniac sec,
- avec l'anhydride chromique, CrO₃, l'ammoniac gazeux décompose le trioxyde sec avec incandescence à la température ambiante.

L'ammoniac peut également former des mélanges auto-inflammables :

- avec l'acide nitrique, HNO₃,
- avec le dichlorure de chromyle, CrO₂Cl₂, l'ammoniac peut être enflammé par ce produit.

1.6.6 Stabilité

A température ordinaire, l'ammoniac gazeux est un composé stable. Sa dissociation en hydrogène et en azote ne commence que vers 450 – 500°C. En présence de certains métaux comme le fer, le nickel, l'osmium, le zinc, l'uranium, cette décomposition commence dès la température de 300°C et est presque complète vers 500 à 600°C.

2. EFFETS SUR L'HOMME

2.1 GENERALITES

Concernant la toxicité de l'ammoniac, il existe différentes valeurs publiées pour un même effet donné. A cela, on peut avancer trois raisons différentes :

- l'absence d'expérimentation humaine pour les concentrations élevées,
- la disparité des individus constituant un échantillonnage humain par rapport à un échantillonnage d'animaux de laboratoire sélectionnés pour lequel la réponse varie peu d'un animal à l'autre,
- la difficulté à extrapoler à l'homme des résultats issus de l'expérimentation animale.

La toxicité de l'ammoniac gazeux est liée à sa très grande solubilité et à l'alcalinité des solutions résultantes qui en fait un agent agressif des muqueuses et des poumons.

L'exposition à une atmosphère chargée d'ammoniac peut provoquer diverses atteintes corporelles détaillées ci-après :

- atteintes oculaires : elles peuvent être provoquées par l'action des vapeurs mais aussi par les projections de liquide. Elles se manifestent par du larmoiement, des conjonctivites pouvant s'accompagner d'atteintes à la cornée plus ou moins profondes,
- atteintes cutanées : sous forme de dermites de contact,

- atteintes respiratoires : l'inhalation de vapeurs d'ammoniac provoque une irritation des voies respiratoires supérieures avec éternuement, dyspnée et toux. Le stade le plus grave étant l'œdème aigu du poumon (OAP). L'OAP est un accident qui se produit après inhalation de gaz vésicants (Cl₂, NH₃, SO₂) par dégradation des parois des alvéoles pulmonaires qui sont alors inondées par le plasma sanguin. Fort heureusement, le seuil de détection olfactive de l'ammoniac se situe bien en dessous des concentrations considérées dangereuses.
- brûlures digestives : l'ingestion d'ammoniac est suivie de phénomènes douloureux très intenses avec intolérance gastrique, état de choc s'accompagnant parfois d'érythème ou de purpura. La complication à redouter est l'œdème de la glotte.

L'ammoniac sous forme liquide en contact direct avec la peau gèle les tissus et provoque des brûlures. Les solutions d'ammoniac sont fortement alcalines et par suite très irritantes pour les muqueuses, la peau et les yeux.

L'exposition prolongée et répétée à l'ammoniac entraîne une tolérance plus élevée. Les odeurs et les effets irritants sont perçus plus difficilement.

Les seuils de perception olfactive sont très variables

2.1.1 Toxicité aiguë

La fiche de toxicité aiguë de l'INERIS (cf. [http://www.ineris.fr/rapports-d'étude/toxicologie-et-environnement/Fiches de données toxicologiques et environnementales](http://www.ineris.fr/rapports-d'étude/toxicologie-et-environnement/Fiches%20de%20données%20toxicologiques%20et%20environnementales)) fournit les valeurs suivantes (cf. Tableau 8):

	Temps (min)					
	1	3	10	20	30	60
Seuil des effets létaux significatifs (SELS)						
mg/m³	19623	ND	6183	4387	3593	2543
ppm	28033	ND	8833	6267	5133	3633
Seuil des premiers effets létaux (SEL)						
mg/m³	17710	10290	5740	4083	3337	2380
ppm	25300	14700	8200	5833	4767	3400
Seuil des effets irréversibles (SEI)						
mg/m³	1050	700	606	428	350	248
ppm	1500	1000	866	612	500	354
Seuil des effets réversibles (SER)						
mg/m³	196	140	105	84	77	56
ppm	280	200	150	120	110	80
Seuil olfactif	≈ 5					
ppm						

Tableau 8 : Seuils de toxicité aiguë pour l'ammoniac [INERIS]

A noter que l'exposition prolongée et répétée à l'ammoniac entraîne une tolérance plus élevée. Les odeurs et les effets irritants sont perçus plus difficilement.

De plus, les seuils de perception olfactive sont très variables suivant l'individu, allant de quelques ppm à plusieurs dizaines de ppm (en moyenne, de l'ordre de 5 ppm).

2.1.2 Toxicologie sur les lieux de travail

La concentration autorisée pour l'ammoniac en atmosphère de travail est réglementairement limitée et contrôlée dans la plupart des pays industrialisés. Les valeurs retenues en France sont données dans le Tableau 9. Ces valeurs peuvent varier légèrement d'un pays à un autre. Des valeurs plus élevées sont aussi définies pour des expositions de courte durée ou en situation d'urgence.

Désignation	Définition	Valeur	Observation
VLCT	Valeur Limite de Court Terme (VLCT)	20 ppm 14 mg/m ³	Article R4412-149 du code du travail
VLEP	Valeur Limite d'Exposition sur 8 h (VLEP)	10 ppm 7 mg/m ³	Article R4412-149 du code du travail

Tableau 9 : Concentrations admises en France sur les lieux du travail

2.1.3 Synthèse des effets aigus chez l'homme par inhalation

Les différents effets toxiques observés chez l'homme suite à une exposition aiguë sont reportés dans le Tableau 10.

Temps (min)	Concentration (ppm)	Symptomatologie	Références
10	5-50	Perception olfactive	OMS IPCS, 1986
5	50	Quelques signes cliniques, inconfort	Markham, 1987
30	80	Nuisance olfactive	Verbeck, 1977
30	110-140	Inconfort, irritation de la gorge	Verbeck, 1977
5	134	Larmolement, irritations oculaire, nasale et de la gorge	Markham, 1987
30-75	140	Exposition intolérable, sortie de la chambre	Verbeck, 1977
1	150-200	Irritation oculaire perceptible	Wallace, 1978
8-11	150	Signes fonctionnels respiratoires	Cole, 1977
30	330	Toléré, absence de séquelles	Markham, 1987
< 1	400	Irritation oculaire	Wallace, 1978
30	500	Irritation voies respiratoires, signes fonctionnels respiratoires, larmolement sans contact direct	Silverman, 1949
30 sec.	600	Larmolement	Wallace, 1978
qq sec.	700	Larmolement, atmosphère toujours respirable	Wallace, 1978
1-3	700	Lésions oculaires, assistance médicale	Markham, 1987
immédiat	1 000	Larmolement, vision altérée (larmolement, opacification cornée)	Wallace, 1978
1-3	1 000	Respiration intolérable	Wallace, 1978
immédiat	1 500	Sortie de la chambre d'exposition	Wallace, 1978

Tableau 10 : Effets observés chez l'homme par inhalation

3. EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

L'ammoniac est dangereux pour l'environnement. Il est très toxique pour les organismes aquatiques.

ANNEXE 3
Optimisation de la quantité d'ammoniac

Cette annexe apporte des éléments sur la réduction du potentiel de dangers.

Les informations peuvent guider des exploitants et/ou permettre aux inspecteurs de poser des questions sur la réduction du potentiel de dangers.

1. GENERALITES

Pour réduire le potentiel de dangers, plusieurs possibilités peuvent être mises en œuvre. Le choix des techniques dépend du contexte (installations existantes ou nouvelles, environnement avec plus ou moins d'enjeux...).

L'étude de dangers contient un chapitre permettant à l'exploitant de motiver ses choix techniques et de les comparer aux stratégies de réduction des potentiels de dangers.

Les axes suivants de **réduction du potentiel de dangers** sont étudiés :

- Réduction de la quantité d'ammoniac par substitution ;
- Réduction des diamètres, pressions et quantités.

Il est également envisagé une solution de **réduction du risque à la source** :

- Déplacement des installations extérieures dans la salle des machines.

2. REDUCTION DE LA QUANTITE D'AMMONIAC PAR SUBSTITUTION

L'exploitant pourra s'assurer dans un premier temps de l'adéquation entre la charge d'ammoniac et les besoins. Il devra démontrer qu'il a cherché à **réduire la quantité totale d'ammoniac dans l'installation**.

En cas de contexte difficile en termes d'enjeux (environnement urbanisé proche par exemple), l'exploitant peut étudier la diminution de la charge d'ammoniac en utilisant des systèmes en cascade. L'ammoniac est maintenu comme fluide frigorigène au niveau de la salle des machines : au niveau de l'évaporateur, l'ammoniac est vaporisé par échange de chaleur avec un autre fluide compatible avec les besoins des utilisateurs.

Si l'installation est existante, cela nécessite une conversion des installations avec changement éventuel des capacités, des tuyauteries, justifié par l'incompatibilité des nouveaux fluides avec les matériaux existants, les quantités mises en œuvre, les pressions de service éventuellement différentes. La faisabilité technico-économique n'est donc pas assurée dans le cas d'une installation existante.

Usuellement les fluides suivants sont utilisés :

- Congélation, surgélation : CO₂ ;
- Réfrigération négative : alcali ;
- Réfrigération positive : eau glycolée.

Bien sûr un fluide utilisable pour des très basses températures est aussi utilisable pour des températures plus élevées mais avec des contraintes plus importantes que celles des fluides adaptées à cette température (le CO₂ nécessite par exemple de très hautes pressions...).

Ces installations sont certes intéressantes pour la réduction du potentiel de dangers du point de vue du risque accidentel mais elles conduisent à une surconsommation énergétique ainsi qu'à un surinvestissement (pompe, réseau eau glycolée...).

La figure ci-dessous représente un schéma avec circuit indirect.

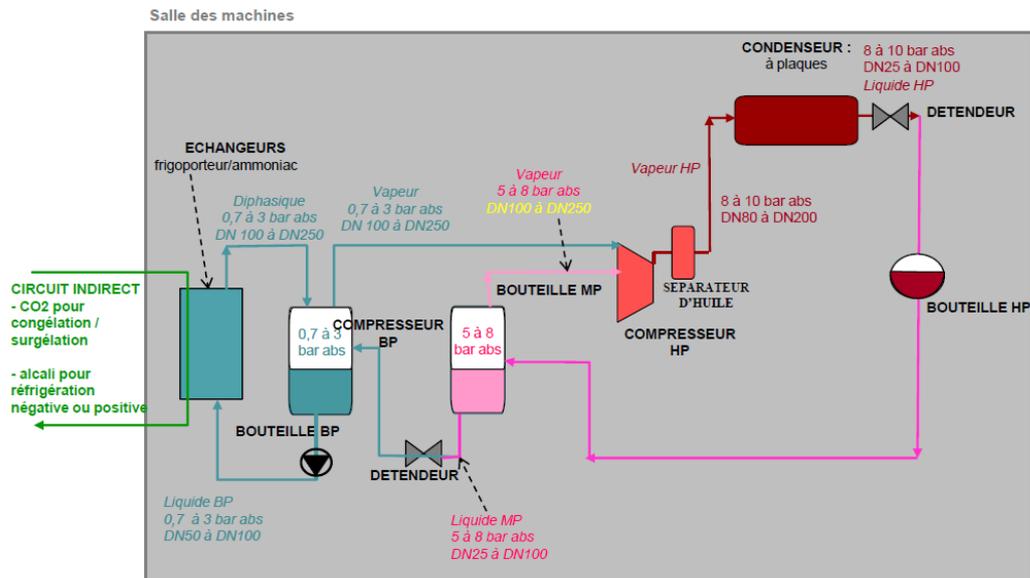


Figure 19 : Exemple de schéma indirect

3. REDUCTION DES DIAMETRES, PRESSIONS ET QUANTITES

La réduction du potentiel de dangers peut également s'effectuer par :

- **la réduction des diamètres et des longueurs de tuyauteries** ; la réduction du diamètre permet de réduire le débit en cas de fuite (débit proportionnel à carré du diamètre) et réduit donc les distances d'effets potentielles. Cependant une optimisation des diamètres est à rechercher car une réduction des diamètres des tuyauteries peut conduire à une dégradation des performances énergétiques.
 - Les diamètres des tuyauteries sont réduits le plus possibles ;

A noter que la justification des diamètres et longueurs de tuyauteries est une exigence réglementaire de l'arrêté du 16 juillet 1997 (article 51) : « *Les canalisations doivent être les plus courtes possibles et de diamètres les plus réduits possibles.* »
 - la réduction des diamètres des points d'opérations tels que purges est également recherchée. Usuellement les purges liquides sont en diamètre DN15 et les purges sur les incondensables en DN12.

L'article 43 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « *Les points de purge (huile, etc.) doivent être du diamètre minimal nécessaire aux besoins d'exploitation.* ».
- **la réduction des pressions dans la mesure du possible.** Les pressions côté BP dépendent des utilisations et doivent être optimisées. La pression côté HP est calée sur la température de la source chaude. Comme celle-ci varie au fil du temps, la pression n'est pas constante dans le temps ; une réduction de la pression en fonction des conditions externes (régulation en fonction de la température de bulbe humide) pourra être recherchée. La réduction de la pression permet de réduire le débit en cas de fuite (débit proportionnel à la racine carrée de la pression relative).

- **la réduction globale de la quantité d'ammoniac** ; pour cela :
 - l'utilisation de technologies compatibles avec une capacité moindre d'ammoniac : remplacement des échangeurs tubulaires par des échangeurs à plaques (en ordre de grandeur, la quantité d'ammoniac passe de 150 kg à 45 kg dans les échangeurs) ; des échangeurs à plaques et calandre sont également utilisables qui réduisent la quantité d'ammoniac et limitent de plus les risques de fuite (l'ammoniac dans les plaques n'est pas en contact direct avec l'air ambiant puisque l'eau est dans la calandre).
 - la réduction des capacités ; l'ammoniac sous forme liquide HP présentant le potentiel de dangers le plus important, une réduction des capacités en liquide HP est particulièrement recherché :
 - suppression des bouteilles HP dans la mesure du possible ; parfois, sur des installations existantes, l'ammoniac HP est utilisé pour refroidir l'huile du compresseur (technique de thermosiphon). Cette technique de refroidissement tend à disparaître pour être remplacée par un piquage sur l'eau glycolée. Sur les installations neuves, le thermosiphon n'est pas mis en œuvre.

Dans quelques installations, l'ammoniac est utilisé pour le procédé (cas de la production des crèmes glacées) et ne pourra donc pas être totalement supprimé.

- déplacement du détendeur HP au plus près des condenseurs pour limiter la quantité d'ammoniac liquide HP.

4. DEPLACEMENT DES INSTALLATIONS EXTERIEURES DANS LA SALLE DES MACHINES

Une mesure de réduction du risque à la source peut également être étudiée dans les contextes difficiles. Cette mesure consiste à installer à l'intérieur de la salle des machines des équipements situés à l'extérieur.

Ces installations extérieures peuvent comprendre :

- Les condenseurs évaporatifs (condenseur ammoniac / eau + air) ;
- Les évaporateurs en cas de système direct ;
- Les tuyauteries de liaison entre la salle des machines et ces équipements.

Pour limiter les effets en cas de perte de confinement sur ces installations, les bonnes pratiques de conception incluent :

- le **remplacement des condenseurs évaporatifs par des échangeurs qui peuvent être implantés dans la salle des machines**. L'eau circulant dans les échangeurs (côté froid) est refroidie à son tour par échange sur des échangeurs à air (aéros ou tour de refroidissement, cette dernière pouvant poser des problèmes de légionellose en cas de circuit ouvert).

Cependant le rendement des installations avec deux échangeurs (eau/ammoniac et eau/air) est dégradé et l'investissement plus important si bien que cette solution sera réservée aux configurations en zone urbanisée.

Cette solution (utilisation de condenseurs dans la salle des machines) est celle privilégiée dans le cadre d'une nouvelle installation dans un environnement urbain.

- le **capotage des collecteurs d'arrivée et de départ d'ammoniac** sur les condenseurs évaporatifs, voire le **capotage de la terrasse** (hors extraction d'air de l'échangeur) ;

Dans le cadre d'une nouvelle installation, on privilégiera l'utilisation de condenseurs dans la SDM, ne nécessitant donc pas de capotage.

- lorsque l'ammoniac circule au niveau des utilisateurs, les **fuites sont limitées par les mesures de conception** suivantes :
 - les soudures sur les tuyauteries et les équipements sont radiographiées conformément à la réglementation des équipements sous pression ;
 - les zones de fuites potentielles telles que les vannes sont localisées en dehors des zones accessibles au personnel ; elles sont situées dans des combles techniques disposant de détecteurs d'ammoniac qui génèrent alarme, démarrage de la ventilation des combles puis mise en sécurité en cas d'atteinte d'un 1^{er} puis d'un 2^{ème} seuil d'alarme.
- **Les tuyauteries cheminant entre la salle des machines et les utilisateurs sont également installées en galerie technique** équipée d'une détection ammoniac dans les zones de fuites potentielles (stations de vannes) avec asservissements (isolement et mise en route éventuelle d'une extraction forcée).

ANNEXE 4

Accidentologie des installations de réfrigération : Synthèse et exemples d'accidents caractéristiques

Cette annexe apporte des compléments d'informations sur l'accidentologie. Il comporte trois parties :

- Une synthèse générale de l'accidentologie comportant un zoom sur les événements à étudier dans le cadre des analyses de risques (zoom sur des points spécifiques),
- Une présentation des rapports ARIA des accidents mortels en France et à l'étranger,
- Des accidents caractéristiques.

1. ANALYSE GENERALE DE L'ACCIDENTOLOGIE

1.1 ANALYSE GENERALE

Cette partie de synthèse sur l'accidentologie a été réalisée avec le concours du BARPI (en 2013).

Du point de vue des indicateurs généraux, entre 1958 et juin 2013, 944 cas (sur plus de 43 000 recensés par la base ARIA) sont potentiellement liés à des installations de réfrigération, tous fluides confondus, dont 792 cas concernent le territoire national. Parmi ces accidents sur le territoire français, 525 concernent des installations de réfrigération à l'ammoniac. Sur ces 525 accidents, 234 ont conduit à une émission de frigorigène liquide, gazeux ou en solution.

Sur ces 234 cas nationaux concernant la réfrigération à l'ammoniac, la répartition par type de phénomènes dangereux est approximativement la suivante :

Rejet dangereux (dont rejet prolongé 80%)	100%
• dans atmosphère	88%
• dans les eaux de surface	8,5%
• sur le sol / en rétention	18%
Incendie	6,0%
Explosion	2,1%
Chute / projection d'équipements	2,6%
Effets dominos	3,4%

Tableau 1 : Répartition des principaux phénomènes parmi les cas impliquant la réfrigération NH3

Des émissions directes (ouvertures de tuyauteries, soupapes...) et indirectes (évaporation de flaques) d'ammoniac sont évoquées dans plus de 95% des événements répertoriés, des fuites d'NH3 liquide dans au moins 25% des événements et des rejets de solutions ammoniacales dans 8 à 10% des événements.

D'un point de vue du milieu récepteur des fuites d'ammoniac, les rejets ont entraîné des pollutions de l'air et odeurs (26%) et / ou des eaux superficielles (8,2%) avec atteintes de la faune aquatique (8,2%).

Des dommages matériels sont relevés dans 63% des accidents et des pertes d'exploitation dans 34% des événements étudiés.

Enfin plusieurs incendies ont entraîné des fuites de frigorigène par effet domino (montées en pression des installations prises dans les flammes, ruptures d'équipements...).

Note : Dans la répartition de la figure 28, la part de 2,1% « d'explosion » n'est pas accompagnée d'une explication précise sur le type de phénoménologie mise en cause ; s'agit-il d'une réaction de combustion de vapeurs inflammables ou d'un éclatement pneumatique ? Des cas de BLEVE (0,9%) y sont inclus. Dans quelques cas (cf. §1.2.8), une explosion s'est vraiment produite (inflammation de l'atmosphère explosible formée suite à une fuite et inflammation par des

équipements électriques inadaptés). Le lecteur trouvera le détail de deux accidents, à l'étranger, mettant en jeu la combustion de l'ammoniac, en fin d'annexe.

Note : Le terme incendie ne signifie pas nécessairement incendie des installations de réfrigérations. Il peut s'agir d'incendies ayant impacté des installations connexes (entreposage par exemple) et qui auraient pu générer par effet domino des pertes de confinement sur l'installation de réfrigération. L'analyse de l'accidentologie de la réfrigération à l'ammoniac montre qu'une partie des incendies concerne effectivement des incendies dans des stockages connexes, des équipements annexes... Des incendies en salle des machines ou au niveau des utilisateurs ont cependant été relevés.

En rapport avec les utilisations classiques de l'ammoniac, l'activité impliquée a été identifiée dans 230 des cas étudiés ; 6 secteurs d'activités sont particulièrement concernés (en %) :

Activités principales concernées	%
10 – Industrie agroalimentaire	69%
52 – Entreposage et services auxiliaires de transport	8,3%
46 – Commerce de gros	6,1%
11 – Fabrication de boissons	4,8%
20 – Industrie chimique	3,5%
93 – Activités sportives, récréatives et de loisirs	3,5%

Figure 20 : Principaux secteurs d'activités concernés par des accidents

Les conséquences de ces accidents montrent que sont survenus :

- 1,3% de décès (4 personnes),
- 44% de blessés/intoxiqués/incommodés (600 personnes),
- 12% de personnes évacuées (environ 2760 personnes)
- 5,6% de personnes confinées (environ 2100 personnes).

Quelques cas mortels sont recensés (employés et frigoristes sous-traitants au contact direct des installations uniquement ; aucune victime à l'extérieur du site), mais ce sont les intoxications ou les blessures (projections, brûlures...) qui restent majoritaires. Si les évacuations sont 2 fois plus nombreuses que les confinements, les populations concernées sont dans le même ordre de grandeur. Les cas d'accidents mortels trouvés en France et à l'étranger sont présentés au chapitre 2 de cette annexe.

Plusieurs causes sont souvent à l'origine d'accidents précédés de signes précurseurs et de défaillances élémentaires techniques ou organisationnelles plus ou moins apparentes. Pour 214 accidents pour lesquels au moins une cause a été identifiée :

- Le facteur matériel est impliqué dans 83% des accidents répertoriés, les équipements les plus souvent concernés étant : les canalisations et leurs accessoires (119 cas), dont les vannes / électrovannes (37 cas) et les herse immergées dans les bacs à eaux glacées des laiteries (10 cas), les compresseurs / pompes (33 cas), les soupapes (29 cas), les évaporateurs / condenseurs hors herse pré-citées (19 cas), les réservoirs (16 cas) et les matériels de mesure ou régulation (11 cas).

Relevées dans 80% des accidents, les pertes d'étanchéité et fuites sont très largement majoritaires, les 20% restants concernant des ruptures d'équipements. A noter que la défaillance d'une vanne (16 %) ou d'une régulation (5 %) a pu dans certains cas conduire à ces événements.

- Le facteur organisationnel et humain est explicitement impliqué dans au moins 58% de ces 214 évènements (facteur humain 29% / organisation défaillante 53%). Du point de vue des « acteurs » impliqués, il s'agit d'opérateurs appartenant au site dans 50% des accidents et de sous-traitants intervenants sur les installations dans les 50 autres %.

Les « fuites directes » de frigorigène, c'est à dire sans comptabiliser les installations prises dans un incendie, fait également intervenir le facteur organisationnel et humain dans 59% des 205 accidents suffisamment renseignés en terme de cause(s) : facteur humain 30% / organisation défaillante 53%.

A noter que l'analyse de ces mêmes 214 accidents met aussi en lumière :

- des défauts de maîtrise du procédé (16% des accidents) : variation brutale de régime entraînant ouverture soupape, éclatement, débordement...
- des interventions insuffisantes ou inadaptées (6,1% des accidents) : en phase d'exploitation, lors d'un accident...
- des agressions d'origine naturelle (1,9% des accidents) : températures extérieures élevées, pluies...
- des actes de malveillance ou attentats (1,4% des accidents),

On constate également que :

- la prépondérance du facteur organisationnel transparait aux travers d'absence de consignes, de consignes inadaptées voire non respectées ou d'une méconnaissance des installations ; l'intervention peut ainsi être mal préparée, le matériel d'intervention et / ou de protection absent, insuffisant ou inadapté. Plusieurs interventions mal coordonnées sont également relevées, de même qu'une alerte trop tardive lors d'un accident. Enfin plusieurs accidents résultent d'un entretien insuffisant des installations (5% des cas), voire de leur abandon sans avoir été préalablement vidées et dégazées (5,1% des accidents).
- le facteur humain, dans une moindre mesure, porte sur des erreurs (mauvais montage / serrage / réglage, choc consécutif à collision ou chute matérielle, vanne fermée ou non refermée, lancement d'une opération puis départ de l'opérateur avant achèvement de cette dernière...); les phases de purge des installations sont à ce titre impliquées dans près de 10% des évènements répertoriés. Ces défaillances ont souvent pour conséquences des installations en surpression et l'ouverture intempestive de soupapes (ou leur non-fonctionnement), des écoulements accidentels (purge...), une sensibilité accrue des installations aux vibrations...
- à noter également plusieurs actes volontaires ou de négligence et de manœuvres inhabituelles qui ont conduit à des situations accidentelles,
- enfin certains accidents résultent de problèmes de vieillesse et de fatigue des installations (impact du froid sur les métaux...), mais aussi et sans doute de plus fortes sollicitations de ces dernières en période de grande chaleur.

En matière de circonstances (thématique en tout ou partie connue pour 185 évènements), les phases de travaux, maintenance, réparation ou test des installations / équipements sont impliquées dans 35% des cas étudiés ; le démantèlement des installations concerne à lui seul 8,1% des évènements. Une activité réduite (week-end, nuit, congés...) est évoquée dans 22% des évènements répertoriés. Enfin, les phases de mise en service / arrêt ou redémarrage des installations sont impliquées dans 7,6% des accidents.

Le chapitre 3 de la présente annexe présente quelques cas remarquables d'accidentologie (extrait de la base ARIA du BARPI). Ils reprennent notamment des situations où le facteur humain et l'incendie sont intervenus dans l'accident.

1.2 ZOOM SUR DES POINTS SPECIFIQUES

1.2.1 Eclatement d'un réservoir

L'accidentologie ne mentionne que 2 accidents en France avec ouverture de capacités prises dans un incendie ARIA 11547 (évapo-condenseurs) ou sous l'effet de la chaleur ARIA 15585 (réservoir de 475 l), 1 cas en Grande-Bretagne ARIA 5272 (conteneur).

Hors incendie, l'ouverture d'un « fût à pression / conteneur » trop rempli (ARIA 5223) et la chute de 2 évaporateurs sont répertoriés (ARIA 5223) en France. Aux Etats-Unis, un réservoir se serait ouvert suite à une surpression (ARIA, 14871). Sans que l'évènement soit explicitement décrit, deux réservoirs se seraient aussi ouverts en Corée du Sud (ARIA 5275) et aux USA (ARIA 5287).

1.2.2 Rupture guillotine et autres cas assimilés

L'accidentologie traite de nombreux cas de ruptures guillotines notamment lors de l'usage d'engins de terrassement ou autres outils de chantier en méconnaissance de la présence de tuyauteries encore en place (cas tronçonnage de béton, de démolition à l'étranger, sectionnement en cours de démantèlement d'une tuyauterie 20/27 mm ainsi qu'un coup de pelle hydraulique sur une tuyauterie non vidée et non identifiée ou encore une chute d'échelle en France) mais aussi à la suite de phénomènes vibratoires ou coups de bélier éventuels (ARIA 5265 à l'étranger...).

Des canalisations de raccordement peuvent également se rompre lors de la chute d'équipements lourds comme des évaporateurs (ARIA 5223...) ou après avoir été percutées par des objets (une échelle en France, une caisse ou de lourds équipements à l'étranger...). Pour ces derniers cas, la protection insuffisante ou l'état (corrosion) de ces tuyauteries expliquent également l'accident.

A noter en France également une rupture de tuyauterie 10 mm sur un retour d'huile vers le compresseur.

D'importantes fuites de frigorigène peuvent aussi être consécutives à l'ouverture des collecteurs après rupture et chute des fonds bombés ou non (ARIA 15586, 20484, 23622, 35305).

1.2.3 Rupture de bouteilles d'ammoniac ou de fûts

En France, un cas de rupture du conteneur (ESP) après la vidange d'une installation en raison d'un condenseur hors service a été noté (ARIA 29687). Le conteneur dont la capacité a été dépassée était stocké en attente à l'extérieur de l'établissement (voir un cas au niveau des opérations de purge au chapitre 6.2.7).

A l'étranger, des conteneurs pris dans un incendie auraient éclaté (ARIA 5272).

1.2.4 Appoint en ammoniac ou en huile

L'accidentologie évoque des cas de défaillance de raccord au niveau de flexibles ou des dysfonctionnements de vannes lors de ce type d'opération (ARIA 5295 (étranger), 10364, 27595).

1.2.5 Remplissage de l'installation et vidange de l'installation

Les opérations de remplissage ou vidange d'installations ont donné lieu à des accidents. Outre le cas cité § 1.2.3, on note des fuites suite à des vidanges mal réalisées (matériel de vidange sous-dimensionné, vidange incomplète ou procédure inadapté (vanne maintenue ouverte, réchauffage d'huile conduisant à une ouverture de soupape)... Quelques cas peuvent être cités (ARIA 29687, 10864, 20751, 29395, 34220, 35884...).

1.2.6 Fuite par les soupapes

Des cas de rejet d'ammoniac au niveau des soupapes sont relatés dans l'accidentologie. Soit le rejet est le fait d'une surpression dans l'installation (ARIA 5058, 5222, 6066, 6140, 8081, 11690, 13888, 18586...), soit c'est un défaut technique sur la soupape ou son dysfonctionnement sans raison apparente qui a occasionné le rejet (ARIA 16385, 20484 ?, 12823 ?, 11286, 18586, 23035, 23371, 23518...). Le fonctionnement de la soupape dans certains cas est le fruit d'un défaut de tarage (tarage à une trop faible pression quelque fois combiné à une augmentation de température, la défaillance d'une pompe de circulation d'eau faisant augmenter la pression) : cas à l'étranger.

A noter qu'une inflammation suite à un rejet de soupape a été identifiée et une fuite sur un réglage de soupape également sur deux autres cas à l'étranger.

En France, la fuite sur une soupape tarée trop bas sur un réfrigérant d'huile a provoqué une fuite d'ammoniac ou la défaillance d'un pressostat par manque d'entretien de deux échangeurs à plaques ont été observés. Le séparateur d'huile maintenu en chauffe est aussi à l'origine d'une fuite d'ammoniac par la soupape (la liaison avec le séparateur et la moyenne pression n'a pas été coupée et la bouteille basse pression est montée en pression). Un cas plus exceptionnel à l'étranger d'arrachement de soupape par un chariot élévateur a été mis en lumière.

1.2.7 Fuite au niveau des purges

Les accidents mettant en cause des purges d'installations ont principalement pour origines des interventions inadaptées mettant en cause le facteur organisationnel et humain (ARIA 4027, 11332, 11545, 16761, 27562, 29395, 33728, 33839, 34220, 34235, 35884, 35892, 36105, 39391, 39396) en présence parfois de complications imprévues en cours d'opération (ARIA 5957, 8400, 11690, 13092 ?, 29395, 34220) ou d'une défaillance matérielle (ARIA 13092 ?, 18586, 27562, 28134, 34235, 35892 ?, 39391).

1.2.8 Explosion dans local confiné

L'analyse de l'accidentologie montre que le risque d'explosion peut être écarté dans le cas d'une fuite d'ammoniac en champ libre (cependant des risques de brûlures lié à des flash-thermiques sont possibles). En effet, il apparaît qu'aucune explosion d'un mélange d'air et d'ammoniac en milieu non confiné n'a été recensé si on exclu le seul accident en 1968 qui évoquerait la possible inflammation d'un nuage d' NH_3 à l'air libre (Etats-Unis, ARIA 5266).

En revanche, le risque d'explosion doit être considéré dans le cas d'une fuite en milieu confiné. En effet, des explosions ont été répertoriées en milieu confiné. Ainsi des explosions NH_3 / air en milieu confiné sont relatées dans au moins un accident répertorié en France en 1969 (ARIA 15585), le 2ème accident évoquant davantage une explosion mécanique de compresseur (ARIA 10434).

Par contre, deux évènements auraient été également recensés en 2000 à l'étranger (Pakistan ARIA 18177, Etats-Unis ARIA 18281) sans que la cause d'inflammation soit clairement identifiée. D'autre part, d'autres évènements plus anciens sont répertoriés mais certains sont trop peu détaillés pour une analyse précise du déroulement des accidents (ARIA 5268, 5271, 5273, 14868, 5278, 5288). En revanche, les sources d'inflammation mises en cause sont précisées pour certains évènements : choc ou arc électrique à partir d'un engin (Etats-Unis en 1984, ARIA 5285), lampe d'éclairage (Etats-Unis en 1983, ARIA 5284), perceuse (Pays-Bas en 1977, ARIA 5276), moteur électrique (Etats-Unis en 1969, ARIA 5270), installation électrique ou système de chauffage (Etats-Unis en 1967, ARIA 5265), étincelle de rupture d'un disjoncteur (Etats-Unis en 1958, ARIA 5264).

1.2.9 Incendie

La base ARIA relève de nombreux incendies qui auraient pu impacter les installations de réfrigération d'ammoniac.

Le type de combustibles et la source d'ignition mis en cause dans les incendies sont divers :

- emballages, matériaux combustibles de bureaux, déchets,
- éclairage et autres équipements électriques,
- véhicules en déchargement (propagation à la cargaison puis au bâtiment),
- locaux techniques dont transformateur électrique,
- ateliers (moyens de cuisson, chalumeau...) et combles,
- travaux générant des points chauds.

Au-delà des quelques évènements mentionnés au §.1.1 dans lesquels des installations de réfrigération ont été endommagées, plusieurs dizaines d'autres sinistres ont gravement atteint des établissements industriels sans pour autant que des informations soient données sur les dommages subis par les installations de réfrigération. La base ARIA recense enfin plusieurs incendies qui auraient pu impacter ces installations si elles avaient été dépourvues de mesures constructives adaptées ou de distances d'isolement suffisantes, mais aussi sans la mise en œuvre dans des délais très brefs de moyens de lutte contre l'incendie appropriés, ainsi que de possibilité de mise en sécurité des installations.

1.2.10 Conclusions

Les scénarios identifiés dans cette annexe sont à retenir dans l'analyse préliminaire des risques :

- Perte de confinement sur les réservoirs et les équipements (condenseurs, évaporateurs...);
- Perte de confinement sur les tuyauteries (rupture guillotine ou fuite) ; les équipements peuvent être dans la salle des machines ou à l'extérieur de la salle des machines (liaisons vers les utilisateurs) ;
- Rupture de bouteilles d'ammoniac ou de fûts ;
- Fuite au niveau de flexible de raccordement en phase d'appoint ;
- Fuite par les soupapes ;
- Fuite au niveau des purges ;
- Explosion dans un local confiné (salle des machines, combles, utilisateurs...).

Note : L'incendie dans la salle des machines ou à l'extérieur de la salle des machines est à retenir comme un évènement initiateur possible. A noter que ce dernier s'initie le plus souvent hors de la salle des machines ou des chambres froides (ateliers, bureaux, salles d'archives, combles...).

2. ACCIDENTS MORTELS

Les cas d'accidents mortels trouvés en France sont présentés ci-dessous :

N° 22821 - 07/08/2002 - - 971

H52.10 - Entreposage et stockage

Une fuite de 2 à 3 l d'ammoniac (NH₃) de réfrigération (sur 3 500 kg) a lieu dans un établissement distribuant en gros des aliments congelés et surgelés. Alimentant les évaporateurs des chambres froides négatives (-25 °C inférieur à T inférieur à -20 °C), le circuit basse pression (1 t NH₃, -32°C sous 1 bar abs.) impliqué comprend un réservoir BP de 6 000 l (1 t d'NH₃) et un compresseur. La sortie BP dispose de 2 lignes de soutirage du ballon BP alimentant chacune une pompe. Les 2 pompes sont raccordées au réseau d'alimentation des évaporateurs par une canalisation unique. Un filtre isolable par 2 vannes papillons installé dans la salle des machines protège les évaporateurs et dispositifs de commande d'éventuels corps étrangers. La fuite a lieu alors qu'un artisan frigoriste sous-traitant veut changer le couvercle supérieur du filtre ; il ferme les vannes d'isolement, effectue une purge (tuyau de purge retrouvé plongeant dans un bac plastique rempli d'eau ammoniacale), retire enfin le couvercle du filtre et reçoit un jet d'NH₃ liquide. Brûlé au visage, au bras et au thorax, le frigoriste parvient à atteindre la douche de sécurité implantée dans le local. La détection NH₃ qui se déclenche (seuil haut) vers 9h25, provoque le démarrage du ventilateur d'extraction, l'arrêt de l'alimentation électrique de l'installation NH₃, une alarme sonore sur le site avec transmission à la société de gardiennage. L'un des responsables de l'entrepôt prévient alors le fils de l'artisan également frigoriste travaillant sur le site. Ne pouvant être sur les lieux que 10 mn plus tard au moins, **ce dernier retrouvera le corps de son père dans la salle des machines**. Une expertise révèle une rupture de la tige de maintien central, par l'intermédiaire de 2 ressorts, des flasques supérieure et inférieure du filtre. Un scénario accidentel est avancé : purge incomplète du filtre et/ou mauvaise fermeture de la vanne côté évaporateurs, rupture vraisemblablement préexistante de la tige du filtre, brutale détente des ressorts éventuellement favorisée par la montée en pression de l'NH₃ présent dans le filtre, projection d'une quantité d'NH₃ suffisantes pour brûler et asphyxier la victime, seule et sans masque dans la salle des machines. Au déclenchement de l'alarme, aucun des responsables et employés n'a eu le réflexe d'aller vérifier la présence ou non d'une victime dans la salle des machines, ni de prévenir les pompiers qui arriveront après le fils de la victime.

N° 15586 - 03/12/1968 - FRANCE - 69 - LYON

H52.10 - Entreposage et stockage

Une importante fuite d'ammoniac (NH₃) de réfrigération a lieu dans un entrepôt de denrées alimentaires lors du dégivrage des frigorifères associés aux chambres froides. Piégés en sous-sol, **2 employés tentant de s'échapper par un monte-charge** (volontairement bloqué pour faciliter des manutentions ou hors service par interruption en sécurité de l'alimentation électrique ?) **sont tués** et 5 autres sont plus ou moins brûlés. Une pastille d'obturation (diam. 93 mm, ép. 4 mm, poids 191 g) soudée 10 ans plus tôt s'est détachée en bout d'une canalisation (diam. 82 /89 mm), inutilisée mais non démontée, débouchant dans un couloir. L'NH₃ réchauffé (dégivrage) arrivant sur une paroi froide a provoqué des contraintes thermiques et la rupture par fatigue de la pastille. Un manque de liaison entre le métal déposé et le métal de base aurait favorisé cette rupture. Les canalisations sont inspectées pour éliminer les soudures et les montages critiquables. Les consignes de dégivrage sont modifiées (nombre de personnes présentes limité, entrée des locaux interdite...). Des issues de secours sont aménagées. Le personnel est doté de moyens de protection adaptés et en nombre suffisant.

A l'étranger les cas mortels les plus récents sont détaillés ci-dessous. D'autres cas dans les années antérieures sont mentionnés aux Etats Unis, au Canada et un autre cas au Pakistan.

N° 22954 - 31/05/2002 - THAILANDE - 00 - NC

C10.52 - Fabrication de glaces et sorbets

Une fuite d'ammoniac se produit lors de l'entretien d'une installation de réfrigération dans une usine de fabrication de glace. **L'ouvrier effectuant l'entretien décède** quelques minutes après avoir inhalé le gaz, 9 autres employés intoxiqués sont hospitalisés.

N° 21775 - 23/12/2001 - ETATS-UNIS - 00 - MADISON

C10.7 - Fabrication de produits de boulangerie-pâtisserie et de pâtes alimentaires

Dans une usine alimentaire, une fuite d'ammoniac (NH₃) a lieu sur un réservoir utilisé pour la réfrigération des installations. Deux employés déplacent un réservoir d'NH₃ sur un quai de chargement lorsqu'une tuyauterie se rompt : environ 200 l d'NH₃ se répandent. **L'un des employés décèdera de ses blessures**, le 2ème est grièvement blessé ; 30 personnes sont évacuées mais selon les secours, la fuite reste confinée au bâtiment. L'OSHA effectue une enquête.

N° 18177 - 28/06/2000 - PAKISTAN - 00 - LAHORE

H52.10 - Entreposage et stockage

Une fuite d'ammoniac s'enflamme sur une unité de réfrigération dans une usine d'entreposage frigorifique. Les secours interviennent rapidement mais un des employés, brûlé, décède à l'hôpital. Des dizaines de personnes ont eu des malaises dus à la fuite toxique. On dénombre 24 blessés. Un mouvement de panique semble s'être produit parmi les riverains. Des évacuations semblent avoir été engagées. Le feu a été maîtrisé et la fuite jugulée dans la journée.

3. QUELQUES CAS D'ACCIDENTS ILLUSTRATIFS

Quelques cas remarquables d'accidentologie sont évoqués dans le détail ci-après (extrait de la base ARIA du BARPI). Ils reprennent notamment des situations où le facteur humain ou l'incendie sont intervenus dans l'accident.

N° 10165 - 11/06/1997 – CUISEAUX (71)

10.11 - Transformation et conservation de la viande de boucherie

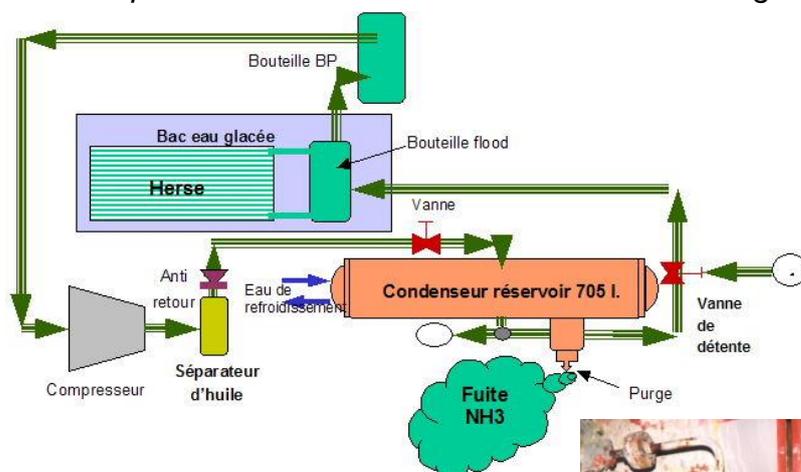
Dans les combles d'un abattoir, une fuite de 2,2 t d'NH₃, quantité remise dans l'unité, a lieu sur une électrovanne du circuit retour BP d'un surgélateur à steaks hachés. Les employés sont évacués 24 h, 40 riverains se confinent dans un périmètre de sécurité de 500 m et 20 pompiers dont une CMIC installent un rideau d'eau. La fuite est stoppée en 2 h en fermant des vannes. Les locaux sont ventilés 30 h. Des odeurs d'NH₃ seront perçues jusqu'à 1 km. Un technicien incommode est hospitalisé, dommages matériels et pertes d'exploitation sont évalués à 3,9 et 0,6 MF.

Une expertise est réalisée. L'unité en service depuis 1 mois utilise 8,5 t d'NH₃. L'électrovanne de DN150, fixée par 8 boulons, sans emboîtement, à joint plat et d'un nouveau type (abandon des joints amiante), s'est rompue sous la pression d'NH₃. Des mesures dynamométriques révèlent un serrage moindre sur 2 boulons (mauvais serrage initial ou desserrage progressif par "coups de bélier" ou variations de température / pression ?), soit la section de joint arrachée. Des contre-écrous sont préconisés pour bloquer le serrage. Des vannes électriques à sécurité positive en amont / aval de la vanne fuyarde, se fermant sur détection NH₃, peuvent être forcées manuellement en position ouverte ou fermée. Si elles avaient fonctionné normalement, seuls les 450 kg d'NH₃ du surgélateur auraient fuit. Les experts retiennent donc une fuite alimentée, vanne amont ouverte manuellement et non totalement refermée avant l'accident, limitant ainsi l'effet de la sécurité positive. Cette vanne, à n'utiliser qu'à la mise en service des circuits, début mai 97 notamment, aurait été manipulée ultérieurement bien que l'exploitant s'en défende. Les trappes d'extraction évacuant l'NH₃ à l'extérieur n'ont pas fonctionné à la suite d'une anomalie de branchement électrique. Les essais ultimes n'ont pas été réalisés, les dates retenues par le maître d'œuvre ne convenant pas au maître d'ouvrage.

L'inspection relève enfin plusieurs infractions : projet de plan interne non validé par les secours externes et dépourvu de consignes écrites pour mettre en œuvre des moyens d'intervention, d'évacuation des personnes et d'appel des secours externes, alarme sonore générale non asservie aux détecteurs NH₃ dont le nombre et les emplacements prévus ne donnent pas un dispositif de détection garantissant la sécurité des personnes, équipements de protection individuels et formation du personnel à la sécurité NH₃ insuffisants.

N° 21034 - 29/08/2001 - SAINT-SAVIOL (86)

10.51 - Exploitation de laiteries et fabrication de fromage



Dans une fromagerie, une fuite d'ammoniac (NH₃) a lieu le matin dans un bâtiment de 4 000 m² (50x20x4 m) abritant une production d'eau glacée de 0,4 Mfg/h avec 3 circuits de réfrigération indépendants de 1 t d'NH₃ chacun, connectés à un bac à eau glacée, l'eau se refroidissant en circuit ouvert au contact des tuyauteries d'NH₃ à - 10 °C. Chaque circuit comprend un compresseur, un condenseur multitubulaire, des bouteilles tampon et le bac à glace faisant office d'évaporateur (herse).

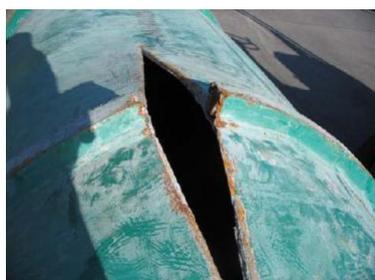
Un soudeur sous-traitant intervenait sur le circuit de refroidissement d'un condenseur dont la bride de fixation boulonnée de la calotte d'extrémité de virole était érodée. De l'eau fuit depuis 2 jours et l'exploitant a décidé de réparer la partie oxydée par soudage localisé. L'installation a été vidée la veille et le serpentin d'eau du condenseur a été vidangé par le responsable d'entretien. Le lendemain, le soudeur note que la pièce à réparer est humide et demande à un mécanicien du site de finir la vidange du circuit d'eau. L'employé, mal informé et pensant qu'il permet d'effectuer cette opération, débloque le bouchon de purge sous le condenseur d'NH₃ puis demande au soudeur d'effectuer la vidange : 100 kg d'NH₃ liquide s'échappent de l'installation, 65 kg formant une flaque sur le sol et 35 kg sous forme de vapeur et d'aérosol. Pilotée par un niveau avec flotteur intégré, la vanne aval de détente permettant le transfert de l'NH₃ du condenseur vers les bouteilles tampon et l'évaporateur en fonction du contenu du condenseur se ferme normalement, mais en amont le compresseur n'est pas étanche : 500 kg d'NH₃ gazeux sont émis durant 4h30.

Un nuage toxique dérive sur le site et ses environs quelques minutes, le vent favorable l'éloignant de l'habitat proche restreint. La gendarmerie intervient, ainsi que 35 pompiers dont une CMIC et une cellule de dépollution. Une route proche est coupée, les 2 employés sont hospitalisés par précaution et les 50 autres employés sont évacués. Des ventilateurs sont installés pour extraire l'NH₃ piégé en forte concentration dans le bâtiment. L'usine reprend ses activités 2h45 plus tard.

L'opérateur connaissait mal les circuits et les travaux ont été insuffisamment préparés. Les installations n'étaient pas équipées conformément à la réglementation pour limiter la quantité d'NH₃ émise. L'administration constate les faits et prend un arrêté de mise en demeure. L'installation est remplacée (1 Mfg/h avec 90 kg d'NH₃ seulement, investissement de 210 Keuros).

N° 29687 - 23/04/2005 - NEMOURS (77)

52.10 - Entreposage et stockage



Un conteneur ou "fût à pression" d'ammoniac (NH_3) fuit dans un entrepôt de surgelés en zone artisanale. L'accident a lieu lors du remplacement du condenseur d'une unité de réfrigération en partie vidée la veille avec transfert de 1 500 kg d' NH_3 à -18 °C dans 4 fûts de 930 l (450 kg) loués à un distributeur de produits chimiques par le frigoriste chargé des travaux. Les 3 fûts pleins et un 4ème rempli à 50 % sont ensuite stockés hors de l'entrepôt gardienné de nuit.

Le lendemain à 11h50, l'un d'eux non manipulé entre temps, construit en 1998 et ré-évalué en 2003 (PE 49 bar, PS 32,5 bar, $-20\text{ °C} < T < +50\text{ °C}$) se déchire brutalement. Le POI est déclenché vers 12h15. D'importants moyens humains et matériels interviennent : centaine de pompiers, quarantaine de véhicules, 2 hélicoptères... Un nuage toxique incommodé une centaine de personnes sur la ZI (dont 21 employés de l'entrepôt), puis atteint une aire d'autoroute à 200 m des fûts où stationnent plusieurs automobiles ; 52 victimes sont recensées, 28 dont 5 plus atteintes (2 gendarmes, 1 chauffeur dans l'entrepôt et 2 personnes asthmatiques) sont hospitalisées jusqu'au soir. Un périmètre de sécurité de 150 m est mis en place et une rue est bloquée. Des messages lumineux informent les usagers de l'autoroute : aire de repos interdite, fermeture des vitres des véhicules, arrêt des ventilations. Les pompiers en ARI dispersent les émanations d' NH_3 avec des lances. Pour maintenir une capacité de rétention suffisante, les eaux de dilution collectées dans un bassin de 300 m³ sont rejetées dans le réseau après un contrôle de pH (8 à 9) ; 550 m³ d'eau seront ainsi utilisés. Les fûts intacts sont transférés dans l'unité de réfrigération. L'aire de repos est réouverte à 21h26 et l'intervention s'achève vers 22 h.

Une expertise note une rupture de l'équipement sous pression (ESP) consécutive à un sur-remplissage dû à une procédure de travail "inadaptée" et préconise une pesée systématique des fûts. Selon l'IIC, la procédure est surtout difficile à mettre en œuvre : positionnement minutieux du fût "polyvalent" susceptible de contenir gaz liquéfiés ou liquides en fonction de 2 marques peintes sur son flanc selon un angle de 40° pour que le tube plongeur limiteur de remplissage 85 ou 100 % puisse jouer son rôle... Ce réglage est cependant imprécis, l'extrémité du tube étant par construction à une distance variable de la paroi du cylindre. Un mélange de produits (eau / NH_3 ...) dû à cette même polyvalence ne peut aussi être écarté.

Une réduction de 600 kg de la charge d' NH_3 (passage au régime de la déclaration) avec remplacement du matériel existant libère un espace suffisant en salle des machines pour stocker les conteneurs de transfert. La construction d'un quai de chargement spécifique facilite la manutention des conteneurs. Le POI est renforcé. Les procédures de remplissage / vidange des réservoirs mobiles sont mieux formalisées.

N° 38991 - 19/09/2010 - ROCHEFORT-SUR-NENON (39)

52.10 - Entreposage et stockage



Un feu se déclare vers 13h15 sur un tracteur routier garé dans un entrepôt soumis à autorisation. Le poste de garde donne l'alerte. L'incendie se propage rapidement aux autres véhicules garés à côté. A l'arrivée des secours, 15 min. plus tard, 3 véhicules sont déjà embrasés. L'incendie est circonscrit après 15 min. d'intervention ; 4 véhicules sont détruits et 3 autres plus ou moins endommagés.

Les infrastructures de l'entrepôt n'ont pas été atteintes car les camions étaient stationnés suffisamment loin du bâtiment. Les eaux d'extinction sont analysées avant de faire l'objet d'une demande de rejet ou d'un traitement éventuel.

Après ce sinistre, l'exploitant prend différentes mesures :

- pas de stationnement des tracteurs routiers à moins de 20 m de tout bâtiment,
- plus d'attelage de semi-remorque à quai en fin de soirée en particulier pour le stationnement de fin de semaine et de nuit.

Le stationnement des tracteurs des prestataires sur des aires de parking hors du site est étudié.

DEUX CAS D'EXPLOSION : Les deux accidents survenus aux USA ayant occasionné une explosion en milieu confiné sont détaillés ci-après :

Référence banque de données : 37.TNO CEE / Référence accident : 8814 337-JR1

Date : 11/12/1983 / Lieu :inconnu

Un opérateur présent dans un entrepôt frigorifique de stockage de crèmes glacées détecte une fuite d'ammoniac. Il prévient les secours et alors que ceux-ci s'apprêtent à intervenir dans le local afin de colmater la fuite, une violente explosion se produit.

Un immeuble de deux étages est totalement soufflé. Les experts ont retenu comme source possible d'inflammation le filament incandescent d'une lampe dont le globe a pu être détruit par le choc thermique produit par les vapeurs d'ammoniac froides.

Référence banque de données : 46.PASCAL CEE / Référence accident : 860179878 328 JR1

Date : 17/09/1984 / Lieu : Houston

Dans un entrepôt frigorifique de viande, des pompiers tentent de colmater une fuite d'ammoniac sur une vanne du réseau de réfrigération. Ils décident d'utiliser un chariot auto-moteur électrique pour accéder plus facilement à la vanne défectueuse.

Une violente explosion se produit alors dans l'entrepôt provoquant un feu important dans les locaux adjacents.

Un des pompiers est tué, les autres sont grièvement blessés.

Les experts ont retenu comme source probable d'ignition une étincelle provoquée par le chariot soit en raison d'un court-circuit électrique soit par le choc mécanique du chariot heurtant le mur en béton du local.

ANNEXE 5

Tableaux d'analyse préliminaire des risques

Arbres de défaillances génériques

Cette annexe présente :

- des tableaux génériques d'analyse préliminaire des risques ;
- des arbres des causes génériques.

Ces outils peuvent être utilisés par l'exploitant pour réaliser l'analyse des risques. Lors de la réalisation de son étude de dangers, l'exploitant veillera à vérifier son applicabilité à son site et si nécessaire à le compléter et/ou à l'amender.

Les arbres d'événements sont représentés en annexe 9.

Des mesures (bonnes pratiques et mesures de sécurité) sont identifiées dans les tableaux d'analyse sous forme de fonctions. Les libellés des fonctions de prévention sont précisés dans le tableau ci-dessous :

Numérotation des mesures	Intitulé général des bonnes pratiques et mesures de sécurité en prévention
1	Procédures de conduite et d'exploitation de l'installation
2	Vérifications réglementaires
3	Limitation de la montée en pression
4	Prévention des effets des vibrations
5	Prévention des coups de liquide
6	Prévention des chocs et bris mécaniques
7	Prévention de la corrosion
8	Prévention des fuites sur les organes ou tuyauteries
9	Prévention de l'échauffement excessif du moteur
10	Prévention des erreurs sur interventions
11	Prévention de la dépression
12	Prévention des propagations d'incendie
13	Prévention des départs de feu dans la salle des machines
14	Limitation des effets d'un incendie
15	Prévention du surremplissage
16	Prévention des effets des causes naturelles
17	Prévention des effets des causes externes non naturelles

Tableau 11 : Liste des bonnes pratiques et mesures de sécurité identifiées dans l'APR et les nœuds-papillons

Les mesures de protection sont identifiées de manière explicite dans les tableaux d'APR.

Les annexes 6 et 7 présentent des éléments d'évaluation des performances des mesures de maîtrise des risques identifiées dans les tableaux d'APR.

1. TABLEAUX D'ANALYSE DE RISQUES

Les tableaux génériques d'analyse préliminaire des risques sont présentés page suivante.

Ils représentent un support pour réaliser l'analyse de risques. L'exploitant vérifiera l'adaptabilité à son site.

Les causes d'exclusion de certains scénarios sont précisées dans les tableaux et feront l'objet d'une analyse spécifique par l'exploitant.

1.1 PERTE DE CONFINEMENT SUR RESERVOIRS

Le tableau ci-dessous est destiné à servir de support à l'analyse de risques réalisée par l'exploitant, pour les différents réservoirs de l'installation.

N°	Cause de la dérive (ou Événement Initiateur) (de la dérive)	Dérive (ou Événement intermédiaire)	Événement Redouté Central (ERC)	Phénomène dangereux (PhD)	F	I	Fonction de sécurité en prévention	Fonction de sécurité en protection	Recommandations / Remarques	Justification fréquence ou intensité
RESERVOIRS HP / MP / BP										
	Incendie dans la SDM	Défaillance technique réservoirs MP, HP, BP	Perte de confinement a/ ruine : voir si conditions d'exclusions sont satisfaites (cf. note ci-dessous) b/ brèche dans le réservoir	a/Effet toxique b/ fuite dans salle des machines : explosion possible (si fuite hors salle des machines : pas d'explosion possible)			14	* détection humaine + arrêt urgence + arrêt installation et extraction forcée et isolement vannes *détection ammoniac + arrêt installation et extraction forcée et isolement vannes		
	Dépression ?								11	
	Usure								2	
	Vibrations								4	
	Corrosion								2	
	Défaillance d'organes de fonctionnement (vannes / robinets, pressostat, thermomètres, clapet, régulateur, détendeur, viseur, tube, niveau...)								7	
	Augmentation de pression dans le circuit BP/MP/HP								1	
	Défaut métallurgique								2	
	Surremplissage								1	
	Vannes fermées et capacité isolée sous pression				Erreur humaine sur réservoirs MP, HP, BP					10
	Mauvaise maintenance ou exploitation (purgées...)					1				
	Agressions externes (choc d'engins...)					10				
						6				
						10				

Tableau 12 : Support pour APR des réservoirs HP / MP / BP

Note : l'exploitant vérifie au cours de l'analyse de risques que l'ensemble des conditions permettant d'écartier la ruine d'un réservoir sont satisfaites. Ces conditions sont :

- si des dispositions sont prises pour protéger le réservoir d'agressions internes et externes :
 - des flux thermiques : le local dans lequel est implanté le réservoir est équipé de murs coupe-feu et ne contient pas de produits inflammables ; il comporte une détection incendie avec alarme renvoyée dans un poste de surveillance avec présence de personnel en permanence ;
 - des agressions mécaniques : le réservoir est dans un local et des mesures sont prises pour éviter les chocs liés à la circulation de chariots ou autres engins (existence d'un muret autour des capacités situées au sol ou positionnement en hauteur en dehors des passages de chariots) ; aucun objet lourd n'est positionné au dessus des capacités ;
 - des agressions au cours de travaux : les travaux donnent lieu à des plans de prévention et des permis spécifiques (plans de consignations / déconsignations et permis de feu). Les mesures mises en place dans le cadre des travaux sont connues des opérateurs et contrôlées ;
 - des effets dominos (surpression et/ou projection) : l'exploitant vérifie l'absence d'effets dominos externes pouvant conduire à une destruction de la capacité (effondrement local, impact direct pour condenseur externe...) ;
- s'il est conforme à la réglementation pour les " équipements sous pression " et les normes en vigueur. D'autre part, l'exploitant, dans le cadre de son plan de suivi des installations, a mis en place les moyens pour (extrapolation de la circulaire du 10 mai 2010 – volet « événements initiateurs spécifiques) :
 - s'assurer que l'enceinte fonctionne dans la gamme de paramètres pour lequel il a été conçu (température, pression, produit...) ;
 - contrôler que les spécificités de l'enceinte permettant la fonction de confinement et les organes de sécurité sont correctement suivies dans le temps. Pour cela un plan de suivi a été élaboré par l'industriel avec définition des moyens requis et indication d'une durée de vie de l'enceinte ;
- si les supportages sont conçus pour les conditions extrêmes (givre) et si l'installation est conçue pour prévenir les vibrations excessives ;
- si les agressions externes d'origine naturelle sont maîtrisées ;
- si le surremplissage n'est pas retenu par le groupe de travail (par exemple, capacité des réservoirs permettant de recueillir tout l'ammoniac, ou pas d'isolement possible de réservoirs tampons, présence de sécurité sur le niveau haut des réservoirs, etc...) ;
- si la surpression (pour d'autres causes que l'effet domino étudié ci-dessus) n'est pas retenu par le groupe de travail (par exemple, pas de causes identifiées, présence de sécurité de pression, tenue à la pression compatible avec les caractéristiques des équipements tels que pompe, compresseur...).

Si les conditions sont satisfaites, l'exploitant précise dans le tableau d'analyse que la ruine du réservoir n'est pas retenue.

1.2 PERTE DE CONFINEMENT SUR LES TUYAUTERIES ET ACCESSOIRES

Le tableau ci-dessous est destiné à servir de support à l'analyse de risques réalisée par l'exploitant, pour les tuyauteries de l'installation.

N°	Cause de la dérive (ou Événement Initiateur) (de la dérive)	Dérive (ou Événement intermédiaire)	Événement Redouté Central (ERC)	Phénomène dangereux (PhD)	F	I	Fonction de sécurité en prévention	Fonction de sécurité en protection	Recommandations / Remarques	Justification fréquence ou intensité
TUYAUTERIES ET ACCESSOIRES										
	Incendie dans la SDM	Défaillance technique tuyauterie et accessoires	Perte de confinement a/ rupture guillotine				14	* détection humaine + arrêt urgence + arrêt installation et extraction forcée et isolement vannes		
	Défaillance pompe						2			
	Défaut métallurgique						1			
	Coup de bélier						5			
	Qualité métal						8			
	Vibration						4			
	Corrosion externe	Erreur humaine sur tuyauterie et/ou accessoires	note : rupture en ras de paroi d'équipements : voir si conditions d'exclusions sont satisfaites (cf. note ci-dessous) b/ brèche dans la tuyauterie	a/Effet toxique b/ si fuite dans salle des machines : explosion possible si fuite hors salle des machines : pas d'explosion possible			2	*détection ammoniac + arrêt installation et extraction forcée et isolement vannes		
	Défaillance d'organes de fonctionnement (vannes / robinets, pressostat, thermomètres, clapet, régulateur, détendeur)						7			
	Augmentation de pression dans le circuit (consécutives ou non à une augmentation de température, au mauvais tarage d'une soupape)						1			
	Vanne (remplissage / purge) laissée ouverte						2			
	Vannes fermées et tronçon isolé sous pression.						8			
	Agression externes (choc, tronçonnage, erreur de maintenance..)						1			
							3			
							1			
							1			
							6			
							10			

Tableau 13 : Support pour APR des tuyauteries et accessoires

Note : l'exploitant vérifie au cours de l'analyse de risques que l'ensemble des conditions permettant d'écarter la rupture d'une tuyauterie en ras de paroi d'un réservoir ou d'une capacité sont satisfaites. Ces conditions sont :

- si des dispositions sont prises pour protéger le réservoir ou la capacité d'agressions internes et externes, par exemple des flux thermiques (le local doit donc être équipé de murs coupe-feu et ne doit pas contenir de produits inflammables ou l'équipement doit être à l'abri des flux thermiques), et des agressions mécaniques (bâtiment et précautions à prendre si circulation ou travaux ou équipement à l'abri des agressions mécaniques de par sa position),
- si l'ensemble « réservoir et tuyauterie jusqu'à la première vanne » est conforme à la réglementation pour les " équipements sous pression " et les normes en vigueur.

Une application de cette condition d'exclusion concerne les collecteurs de sortie d'échangeurs : dans le cas d'échangeurs avec collecteurs de sortie de longueur réduite, la rupture du collecteur pourra de même être écartée.

1.3 PERTE DE CONFINEMENT SUR LE COMPRESSEUR ET LE SEPARATEUR D'HUILE

N°	Cause de la dérive (ou Evénement Initiateur) (de la dérive)	Dérive (ou Evénement intermédiaire)	Evénement Redouté Central (ERC)	Phénomène dangereux (PhD)	F	I	Fonction de sécurité en prévention	Fonction de sécurité en protection	Recommandations / Remarques	Justification fréquence ou intensité
COMPRESSEUR ET SEPARATEUR D'HUILE										
	Défaut métallurgique	Défaillance technique compresseur / séparateur d'huile	Perte de confinement compresseur / séparateur d'huile (HP) fuite d'huile et ammoniac	a/Effet toxique b/ fuite dans salle des machines : explosion possible			2	détection humaine + arrêt urgence + arrêt installation et extraction forcée et isolement vannes		
	Incendie dans la SDM						14			
	Défaut matériel à l'assemblage du compresseur						1			
	Echauffement moteur						2			
	Vibrations						9			
	Coup de liquide						4			
	Agression externes (chocs, travaux...)						5			
	Corrosion externe						6			
	Usure (ex garniture côté huile ; joint d'étanchéité cylindrique / tête de cylindre)						10			
	Augmentation de pression dans le circuit (défaut de régulation, défaut de condensation)						1			
	Défaut sur le circuit d'huile	Erreur humaine sur compresseur / séparateur d'huile.	b/ brèche dans le réservoir	note : rupture en ras de paroi d'équipements : voir si conditions d'exclusions sont satisfaites (cf. § 1.2)			2	*détection ammoniac + arrêt installation et extraction forcée et isolement vannes		
	Augmentation de pression liée à un isolement de réseau en aval du compresseur (vannes fermées ?)						3			
	Vanne fermée en amont du compresseur et échauffement moteur ???						1			
							3			
	Mauvaise maintenance						11			
				1						
				10						

Tableau 14 : Support pour APR du compresseur et séparateur d'huile

1.4 PERTE DE CONFINEMENT SUR LE CONDENSEUR

N°	Cause de la dérive (ou Événement Initiateur) (de la dérive)	Dérive (ou Événement intermédiaire)	Événement Redouté Central (ERC)	Phénomène dangereux (PhD)	F	I	Fonction de sécurité en prévention	Fonction de sécurité en protection	Recommandations / Remarques	Justification fréquence ou intensité				
CONDENSEUR														
	Défaut métallurgique	Défaillance technique condenseur	Perte de confinement : a/ ruine : voir si conditions d'exclusions sont satisfaites (cf. note ci-dessous) b/ brèche dans le réservoir	a/Effet toxique b/ si fuite dans salle des machines : explosion possible			2	détection humaine + arrêt urgence + arrêt installation et extraction forcée et isolement vannes						
	Incendie dans la SDM								14					
	Défaut de soudure								1 2 10					
	Erosion								1 2					
	Chocs thermiques								1 2					
	Vibrations								4					
	Corrosion								2 7					
	Surpression par défaut de régulation								1 3					
	Surpression par bouchage								1 3					
	Surpression par défaillance ventilateur de l'aérocondenseur					note : rupture en ras de paroi d'équipements : voir si conditions d'exclusions sont satisfaites (cf. § 1.2)	si fuite hors salle des machines : pas d'explosion possible				1 3	*détection ammoniac + arrêt installation et extraction forcée et isolement vannes		
	Surpression par perte du réseau de condensation par défaillance pompe de circulation										1 3			
	Usure joint condenseur à plaques à eau										1			
	Mauvais état joint condenseur à plaques à eau par impuretés	Erreur humaine sur condenseur												
	Mauvaise maintenance					1 10								
	Agressions externes (choc mécanique, engins, travaux, chute)					6 10								

Tableau 15 : Support pour APR du condenseur

Note : l'exploitant vérifie au cours de l'analyse de risques si les conditions permettant d'écartier la ruine d'un échangeur sont satisfaites. Ces conditions sont les mêmes que celles relatives aux réservoirs (cf. § 1.1).

1.5 PERTE DE CONFINEMENT SUR L'EVAPORATEUR

N°	Cause de la dérive (ou Événement Initiateur) (de la dérive)	Dérive (ou Événement intermédiaire)	Événement Redouté Central (ERC)	Phénomène dangereux (PhD)	F	I	Fonction de sécurité en prévention	Fonction de sécurité en protection	Recommandations / Remarques	Justification fréquence ou intensité
EVAPORATEUR										
	Défaut métallurgique	Défaillance technique évaporateur	Perte de confinement : a/ ruine : voir si conditions d'exclusions sont satisfaites (cf. note ci-dessous) b/ brèche dans le réservoir	a/Effet toxique b/ si fuite dans zone confinée : explosion possible			2	détection humaine + arrêt urgence + arrêt installation et extraction forcée et isolement vannes		
	Incendie dans la SDM						14			
	Défaut de soudure						1			
							2			
	Erosion						10			
							1			
	Chocs thermique						2			
							1			
	Défaut de régulation						2			
	Défaut de régulation						1			
	Bouchage						1			
	Vibrations						4			
	Corrosion						2			
	Défaillance ventilateur			7						
	Défaillance ventilateur			1						
	Perte de réseau de froid par défaillance pompe de circulation ?	Erreur humaine sur évaporateur	note : rupture en ras de paroi d'équipements : voir si conditions d'exclusions sont satisfaites (cf. § 1.2)	si fuite hors zone confinée : pas d'explosion possible			1	*détection ammoniac + arrêt installation et extraction forcée et isolement vannes		
	Surpression						3			
	Dépression ?						11			
	Mauvaise qualité de joint condenseur à plaques à eau						1			
	Mauvaise maintenance						1			
							10			
	Agressions externes (choc mécanique, engins, travaux,...)						6			
							10			

Tableau 16 : Support pour APR de l'évaporateur

Note : l'exploitant vérifie au cours de l'analyse de risques si les conditions permettant d'écarter la ruine d'un échangeur sont satisfaites. Ces conditions sont les mêmes que celles relatives aux réservoirs (cf. § 1.1).

1.6 PERTE DE CONFINEMENT EN PHASE D'APPOINT OU DE VIDANGE / PERTE DE CONFINEMENT SUR LES BOUTEILLES OU CONTAINERS

N°	Cause de la dérive (ou Événement Initiateur) (de la dérive)	Dérive (ou Événement intermédiaire)	Événement Redouté Central (ERC)	Phénomène dangereux (PhD)	F	I	Fonction de sécurité en prévention	Fonction de sécurité en protection	Recommandations / Remarques	Justification fréquence ou intensité	
POSTE D'APPOINT OU DE VIDANGE / BOUTEILLES OU CONTAINERS											
	Usure anormale raccord flexible	Défaillance technique raccord flexible	Perte de confinement intérieur SDM :	a/Effet toxique b/ si fuite dans salle des machines : explosion possible			1 10	détection humaine + arrêt urgence + arrêt installation et extraction forcée et isolement vannes			
	Surpression flexible ?									1 10	
	Défaut de conception du système									1 10	
	Vanne bloquée en position ouverte (impuretés)									1 10	
	Mauvais serrage (desserrage par vibrations / pression ?)	Erreur humaine sur raccordement du flexible	b/ brèche sur le flexible				10				
	Mauvais entretien flexible									10	
	Agressions externes (choc d'engins, travaux, chute d'objet...)									6 10	
	Mauvaise manipulation	Dégradation des bouteilles ou containers	Perte de confinement bouteilles ou containers :	a/Effet toxique b/ si fuite dans salle des machines : explosion possible			1 10		*détection ammoniac + arrêt installation et extraction forcée et isolement vannes		
	Effets dominos										17
	Agressions externes (choc d'engins, travaux, chute d'objet...)										6 10
	Surremplissage									1 10	
	Surpression (contenant non adapté...)									1 10	
						note : rupture en ras de paroi d'équipements : voir si conditions d'exclusions sont satisfaites (cf. § 1.2)	si fuite hors salle des machines : pas d'explosion possible				1 10

Tableau 17 : Support pour APR du poste d'appoint ou de vidange et pour celle des bouteilles ou containers

Note : l'exploitant détermine au cours de l'analyse de risques si le scénario de perte de confinement sur les bouteilles ou containers peut être écarté. La pertinence de ce scénario est discutée en analyse ; notamment le groupe de travail vérifie :

- si des dispositions sont prises pour protéger les bouteilles ou fûts d'agressions internes et externes (cf. § 1.1 éclatement des capacités sous pression), par exemple :
 - des flux thermiques ;
 - des agressions mécaniques ;
 - des agressions au cours de travaux ;
 - des effets dominos (surpression et/ou projection) ;
- si les bouteilles ou containers sont conformes à la réglementation ADR et aux normes en vigueur. D'autre part, l'exploitant, s'assurera que les conditions de manipulation et de déchargement / chargement des contenants sont conformes aux exigences ADR (hauteur de chute maximale 1,8 m pour des bouteilles et containers) ;
- si le surremplissage (par retour d'ammoniac du circuit vers les bouteilles) peut être exclu du fait de la mise en place de dispositions techniques ou de procédures spécifiques. En particulier, une procédure de vidange validée par les services de secours existe ; la procédure précise les opérations successives à réaliser (enchaînements des tâches incluant consignations...) ainsi que les dispositions prises pour s'assurer que les conteneurs ne sont pas en surremplissage.

1.7 PERTE DE CONFINEMENT SUR LES SOUPAPES

N°	Cause de la dérive (ou Événement Initiateur) (de la dérive)	Dérive (ou Événement intermédiaire)	Événement Redouté Central (ERC)	Phénomène dangereux (PhD)	F	I	Fonction de sécurité en prévention	Fonction de sécurité en protection	Recommandations / Remarques	Justification fréquence ou intensité
SOUPAPES										
	Corrosion de soupape	Défaillance technique / Fonctionnement intempestif soupape	Ouverture soupape (perte de confinement à l'extérieur) : a/ pleine ouverture b/ ouverture partielle	a/Effet toxique			1	détection humaine + arrêt urgence + arrêt installation et extraction forcée et isolement vannes		
	Usure de soupape						2			
	Blocage de la soupape en position ouverte (bouchon de glace)						1			
	Soupape dégradée lors d'une opération de maintenance (choc)						2			
	Blocage de la soupape en position ouverte (impuretés)						6			
	Tarage de la soupape trop bas						1			
	Dérèglement tarage de la soupape						2			
	Augmentation de pression dans le circuit (consécutives ou non à une augmentation de température)	Fonctionnement sécuritaire soupape					3	*détection ammoniac + arrêt installation et extraction forcée et isolement vannes		

Tableau 18 : Support pour APR des soupapes

1.8 ANALYSE DES PERTES D'UTILITE

L'exploitant analyse les conséquences d'une perte d'utilité.

2. ARBRES DE DEFAILLANCES

Les arbres de défaillances sont présentés pages suivantes.

Le code couleur suivant est adopté :

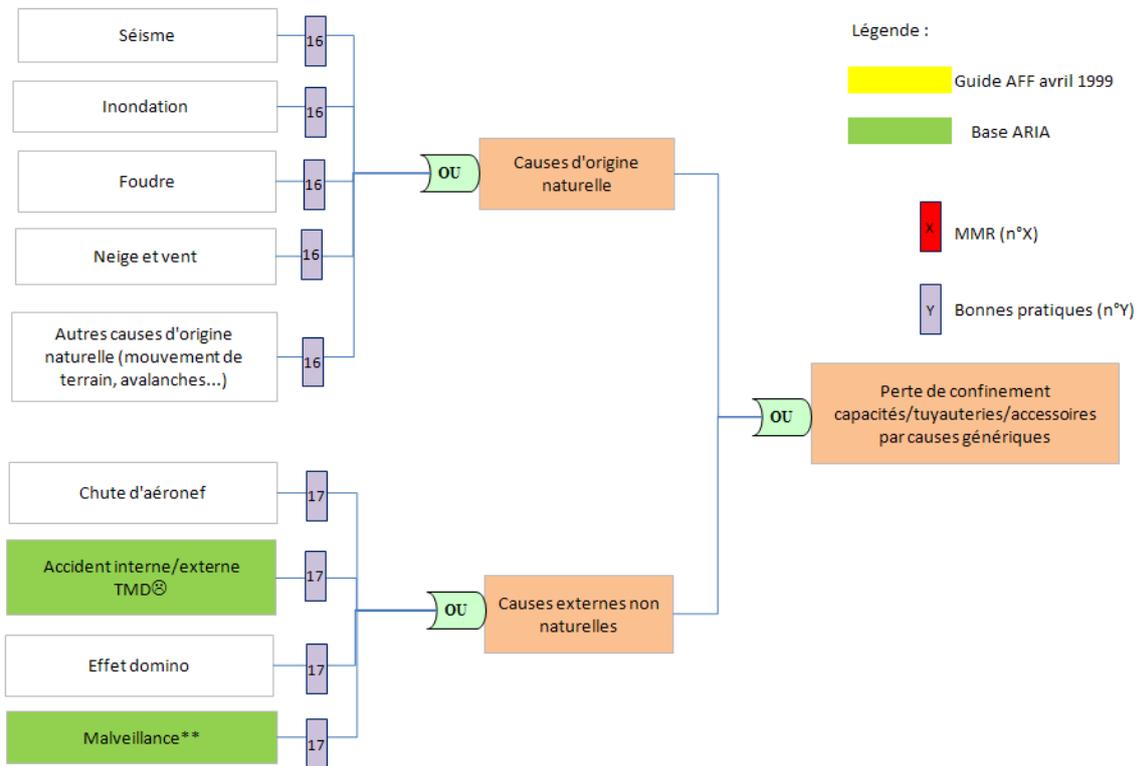
- les événements initiateurs sont repérés selon la source d'identification (guide AFF ou base ARIA) ;
- les fonctions de prévention des événements sont repérées selon qu'elles s'apparentent à des bonnes pratiques ou majoritairement à des MMR (certaines fonctions incluent des MMR mais aussi des bonnes pratiques).

En bas de chaque arbre des causes, des précisions sont données sur certains événements initiateurs.

Les arbres suivants sont présentés :

- Causes génériques ;
- Perte de confinement sur réservoirs ;
- Perte de confinement sur tuyauteries et accessoires associés ;
- Perte de confinement sur compresseurs / séparateurs d'huile ;
- Perte de confinement sur condenseur ;
- Perte de confinement sur évaporateur ;
- Perte de confinement en phase appoint ou vidange ;
- Perte de confinement sur des soupapes.

2.1.1 Causes génériques



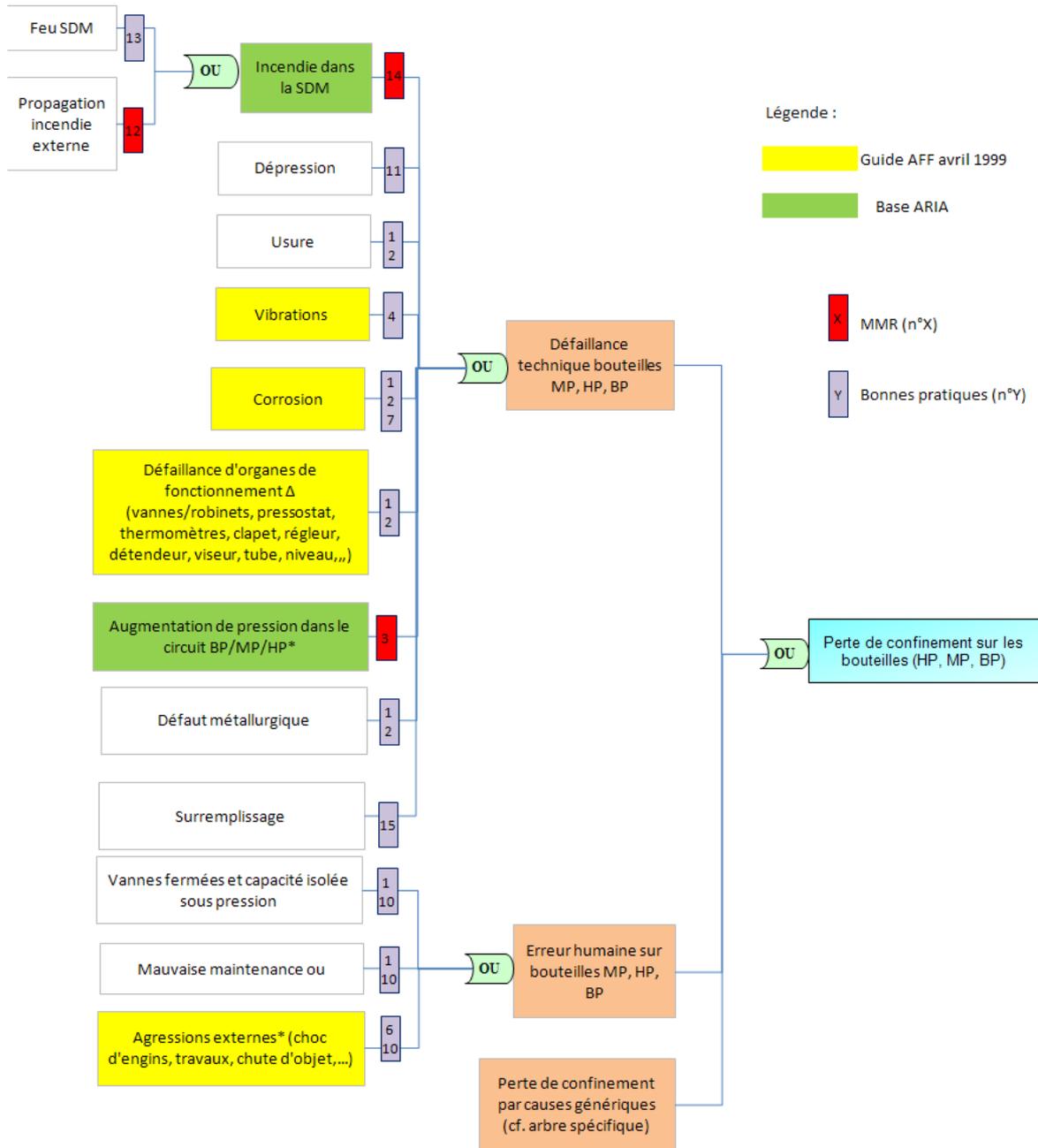
* Cf. base ARIA : cas Etranger

** Cf. base ARIA : cas Etranger

⊕ Cf. base ARIA : inflammation d'hydrocarbures sur un TMD, atteinte installations ammoniac et explosion ammoniac libéré (cas Etranger)

Figure 21 : Arbre des causes génériques (naturelles et externes non naturelles)

2.1.2 Perte de confinement sur réservoirs

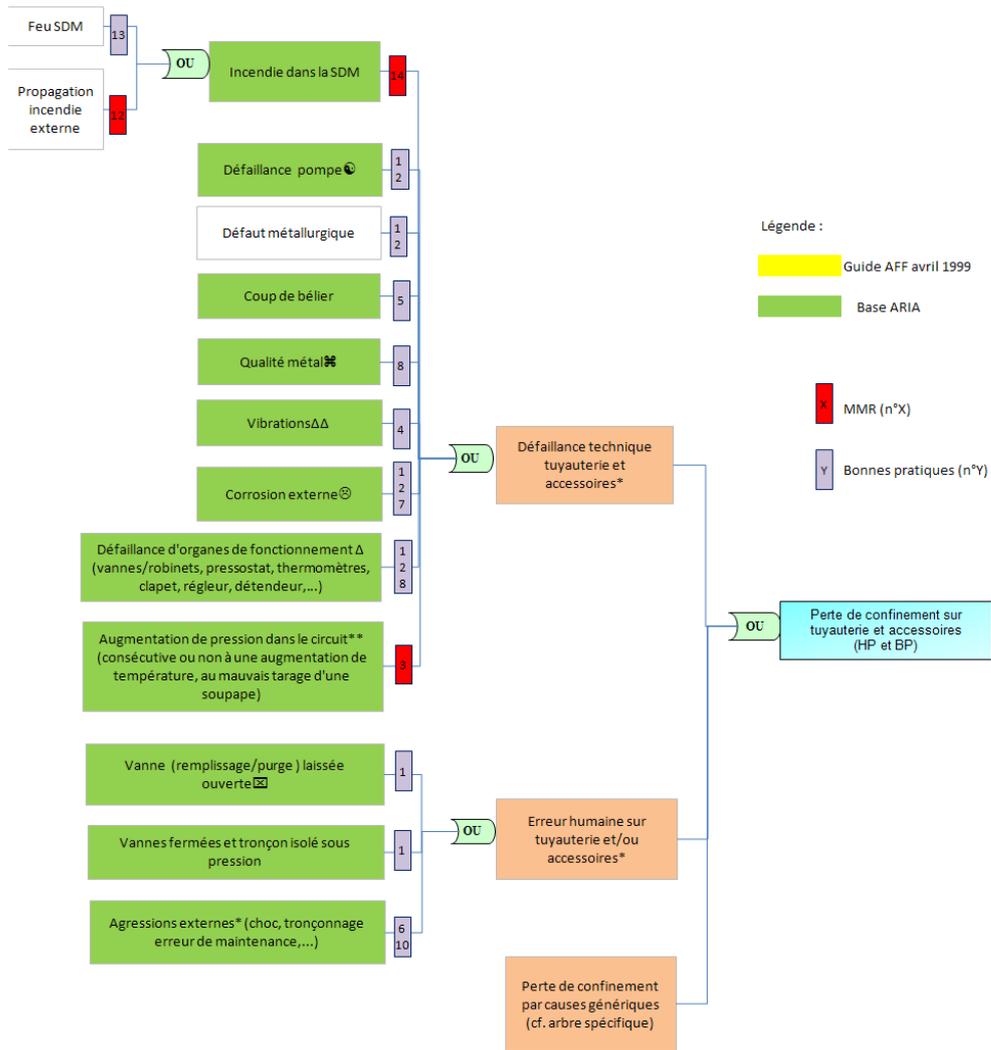


* Cf. base ARIA :

- explosion d'un réservoir accumulateur (cas Etranger)
- rupture ballon accumulateur (cas Etranger)
- rupture d'ESP devant recueillir l'ammoniac à l'extérieur de la sdm lors d'une vidange de condenseur HS (cas France)

Figure 22 : Arbre des causes – perte de confinement sur les bouteilles

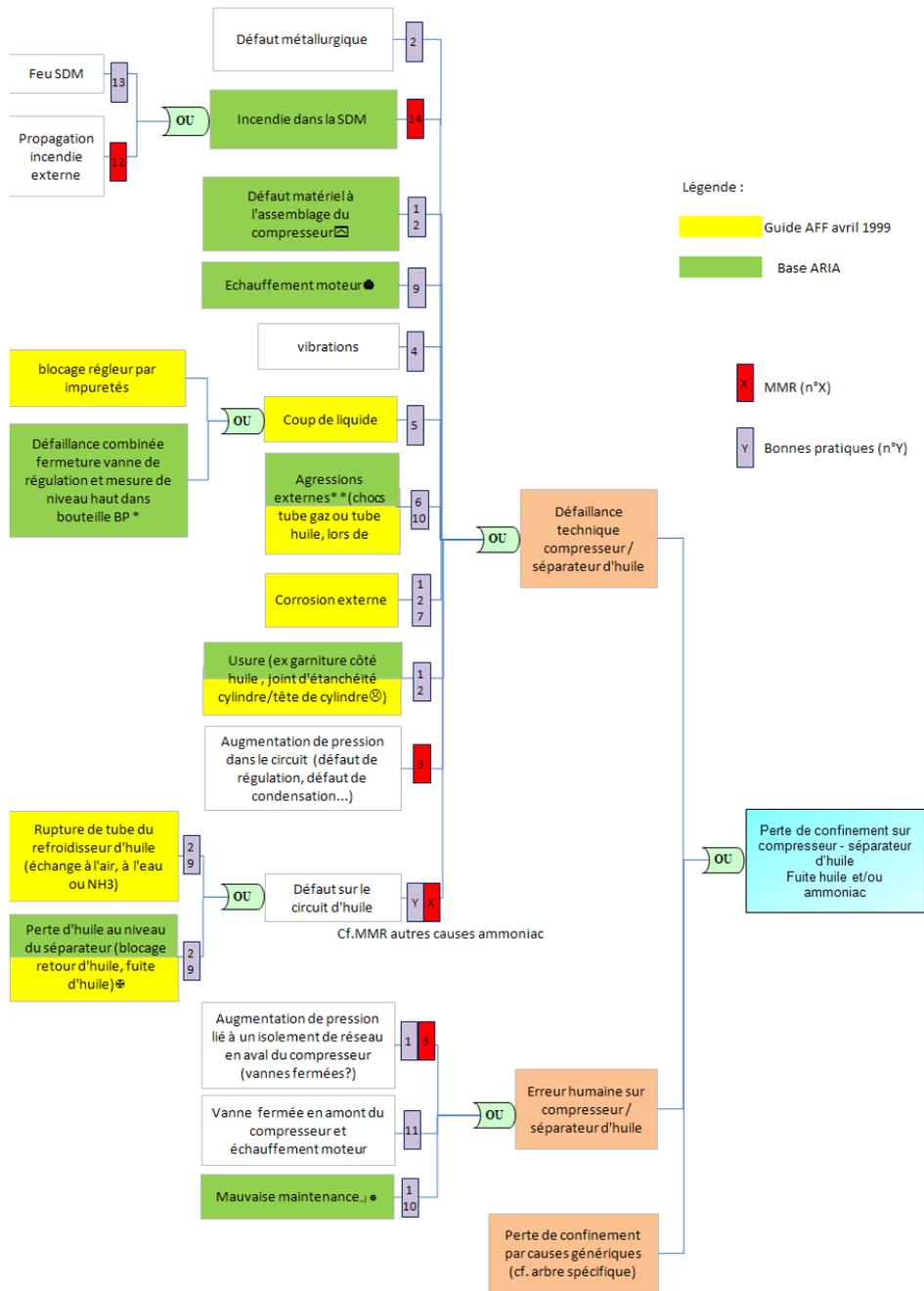
2.1.3 Perte de confinement sur tuyauteries et accessoires associés



- * Cf. base ARIA : chute d'une caisse sur conduite corrodée et mal protégée (cas Etranger)
 coupure d'une tuyauterie mal vidée (cas Etranger)
 dégradation tuyauterie lors d'une tentative de dégivrage par outil manuel
 sectionnement d'une tuyauterie non vidée de 20/27 mm en cours de démantèlement (cas France)
 vanne mal serrée et filtre pas remplacé rapidement (cas France)
 coup de pelle hydraulique sur tuyauterie non identifiée et non vidée (cas France)
 chute d'échelle sur tuyauterie (cas France)
 torsion de tuyauterie lors du déplacement d'un réservoir (cas France)
 dégradation de conduite lors de travaux de démolition (cas Etranger)
 enlèvement d'une tubulure non isolée par un tampon plein (cas Etranger)
- ⊙ Cf. ARIA : dégradation de la face externe de la tuyauterie sous calorifuge (absence de protection par bandes grasses)
- ** Cf. base ARIA : montée en pression de circuit fermé et (vanne ou clapet) défectueux pendant un test sous atmosphère d'ammoniac après révision (cas Etranger)
- mauvaise qualité de soudure et coup de bélier (Cas France)
 vanne de purge dans fût (à l'extérieur) restée ouverte et débordement non contenu dans une rétention (cas France)
 formation d'incondensables (erreurs diverses) et purge mal contrôlée (cas France)
- Δ Cf. base ARIA : absence de position de repli de la vanne (pas de sécurité positive) et écoulement avec pollution (cas Etranger)
 défaillance d'un capteur de pression (cas Etranger)
 défaillance de joint fileté sur tuyauterie de détente avec inflammation de la fuite par source électrique (cas Etranger)
 fissuration du boîtier d'une vanne pilote (poste de commande?) (cas Etranger)
 fissuration d'un capillaire de maintien en pression d'un pressostat de surgélateur (cas France)
 fuite joint de clapet (cas France)
- ΔΔ Cf. base ARIA : rupture de tuyauterie par vibration avec inflammation de la fuite par source électrique (cas Etranger)
 voyant de retour d'huile dévissé par vibrations (Cas France)
 rupture durité d'huile par vibrations (cas France)
 desserage de bouchon par vibrations (cas France)
- ⊘ Cf. base ARIA : mauvaise qualité métal endurant mal le froid (cas France)
- ⊙ Cf. base ARIA : défaillance corps de pompe (cas Etranger)
 fissure de 50 cm de long sur tête de cylindre de compresseur

Figure 23 : Arbre des causes – perte de confinement sur les tuyauteries et accessoires

2.1.4 Perte de confinement sur compresseurs / séparateur d'huile



* Cf. base ARIA : double défaillance réservoir ammoniac sur vanne de régulation de niveau qui ne se ferme pas et niveau défaillant qui crée un noyage et un coup de bélier 1er étage compresseur (cas Etranger)

** Cf. base ARIA : démontage séparateur d'huile et réseau pas complètement vidé (cas Etranger)
 enlèvement d'une cloche de protection au niveau du séparateur d'huile resté sous pression (cas Etranger)
 clapet de vanne sorti de son logement lors d'une opération d'appoint d'huile sur circuit compresseur (cas France)
 lors d'une opération de changement de cartouches coalescentes, un clapet AR s'avère défectueux, sa tentative de changement déclenche l'alarme ammoniac mélangé à l'huile qui dégaze (cas France)

⊗ Cf. base ARIA : détérioration de joint d'étanchéité cylindre/tête de cylindre dans 4 chambres de compression (cas Etranger)

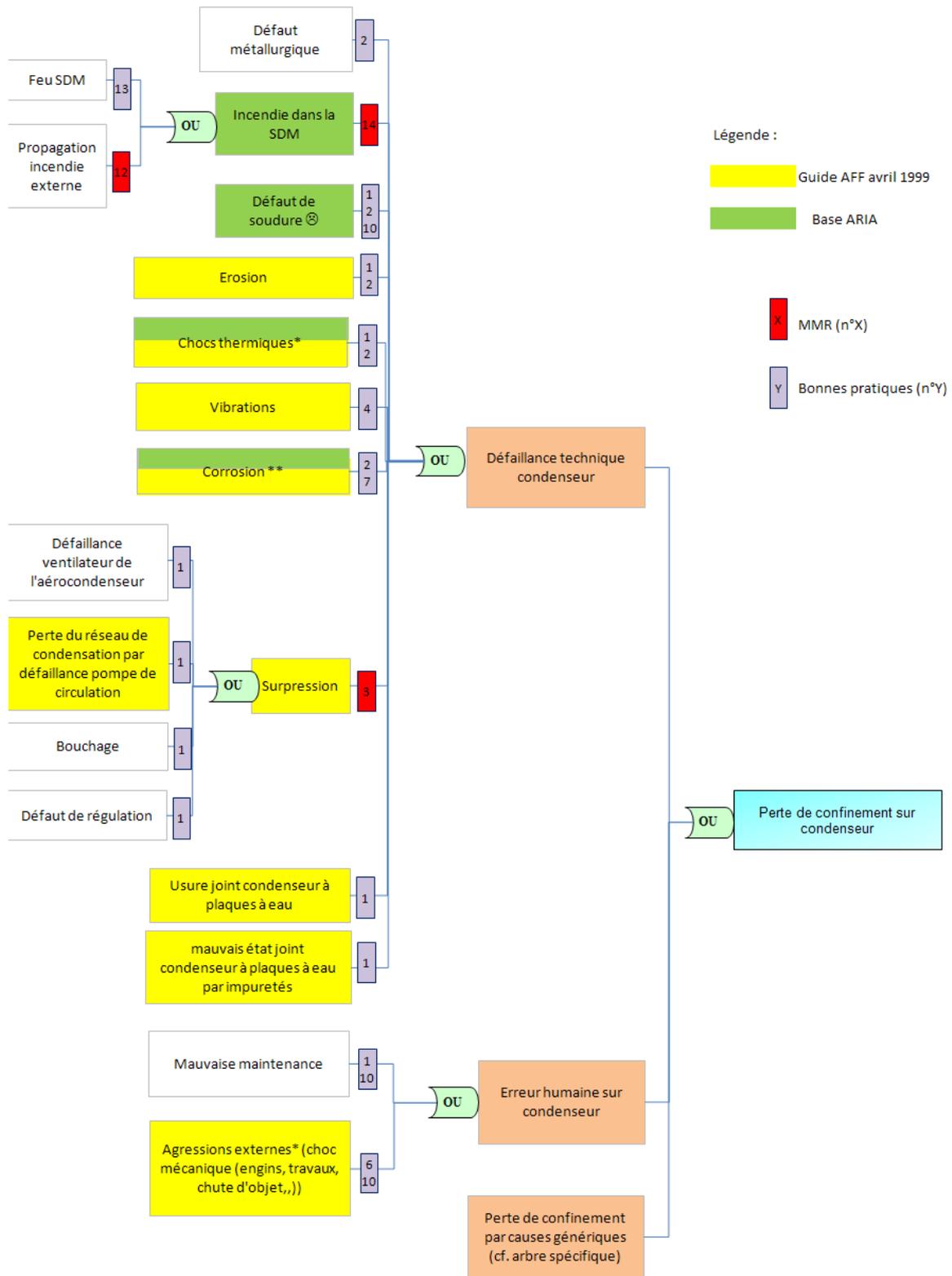
⊗ Cf. base ARIA : fissure de l'assemblage par brides sous pression d'huile à la mise en marche du compresseur (cas Etranger)
 fuite de carter compresseur lors d'une montée en pression (cas France)

⊗ Cf. base ARIA : fuite manchon du capteur de température sur séparateur d'huile (cas Etranger)
 rupture tuyauterie retour d'huile compresseur (cas France)

● Cf. base ARIA : feu de moteur de compresseur par frottement/vibration sur bornier électrique et desserage de cosses créant une amorce électrique (cas France)
 feu de compresseur (cas France)

Figure 24 : Arbre des causes – perte de confinement sur compresseurs et séparateurs d'huile

2.1.5 Perte de confinement sur condenseur

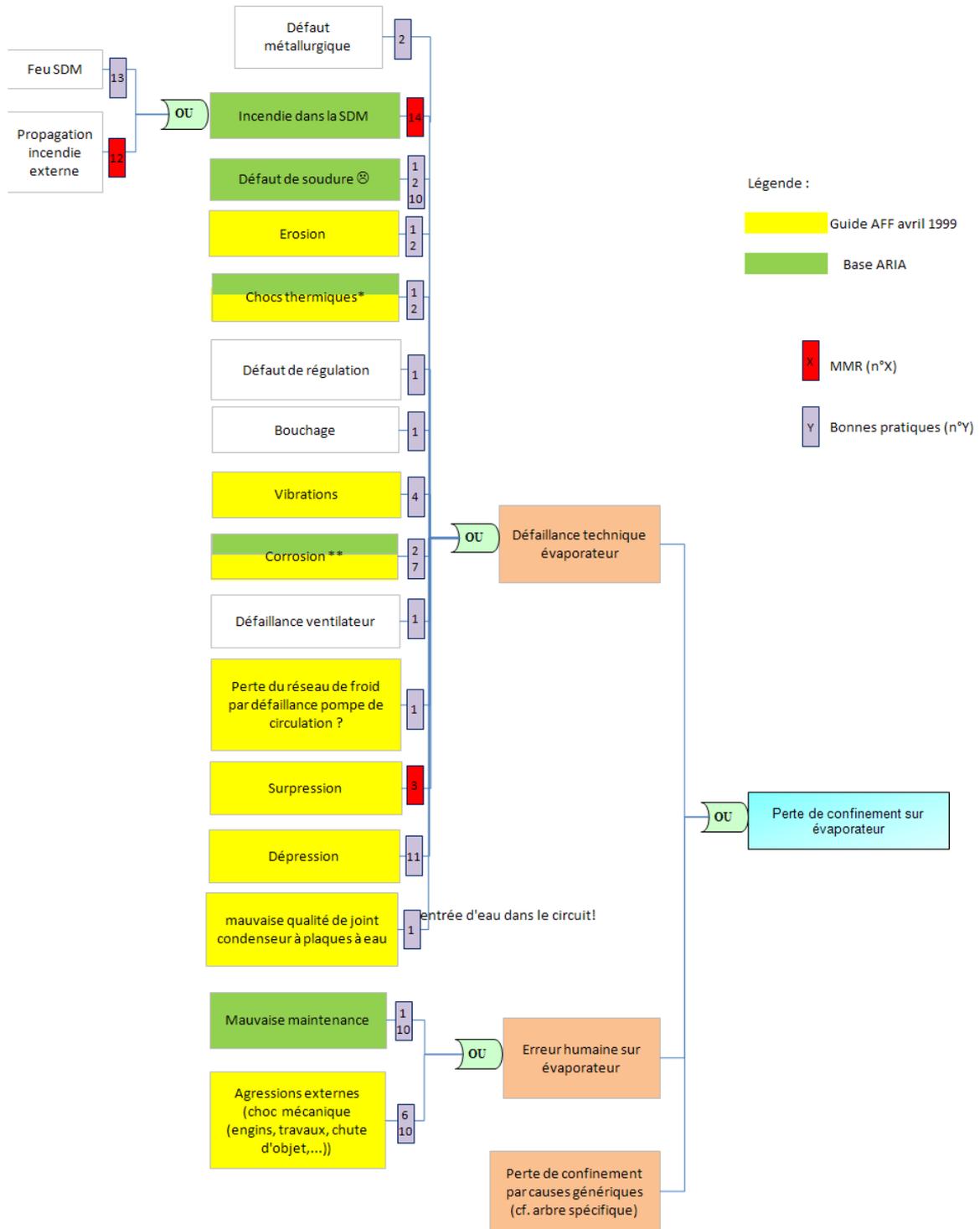


(* et **) Cf. base ARIA : déformation de cassettes d'échangeur par corrosion ou choc thermique (cas France)

⊗ Cf. base ARIA : défaut de soudure sur fond bombé échangeur à air (cas France)

Figure 25 : Arbre des causes – perte de confinement sur le condenseur

2.1.6 Perte de confinement sur évaporateur

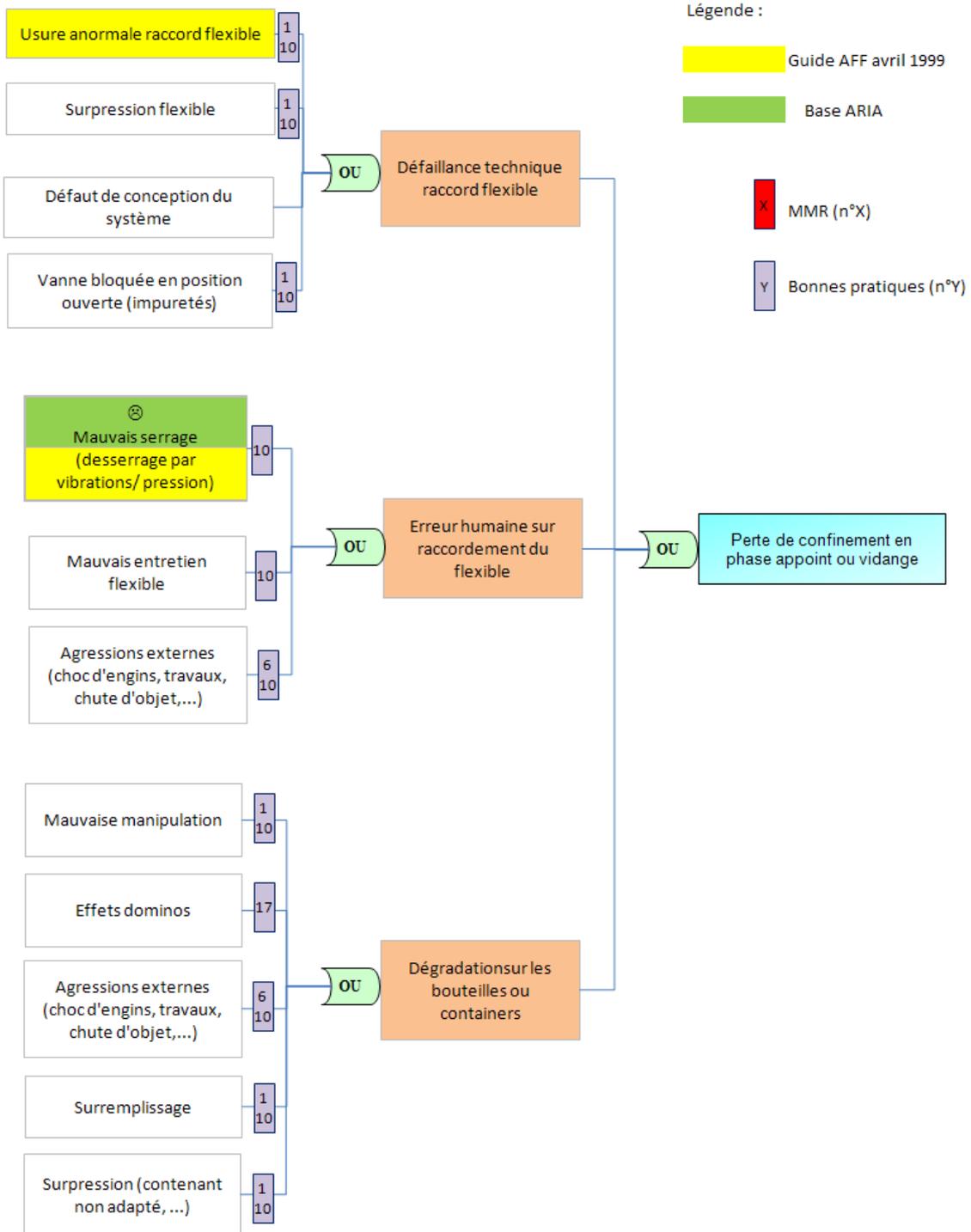


* Cf. base ARIA : corrosion évaporateur en chambre froide contiguë (cas France)

© Cf. base ARIA : rupture d'une soudure sur un fond bombé en point haut du collecteur d'évaporateur en cours de dégivrage (cas

Figure 26 : Arbre des causes – perte de confinement sur les évaporateurs

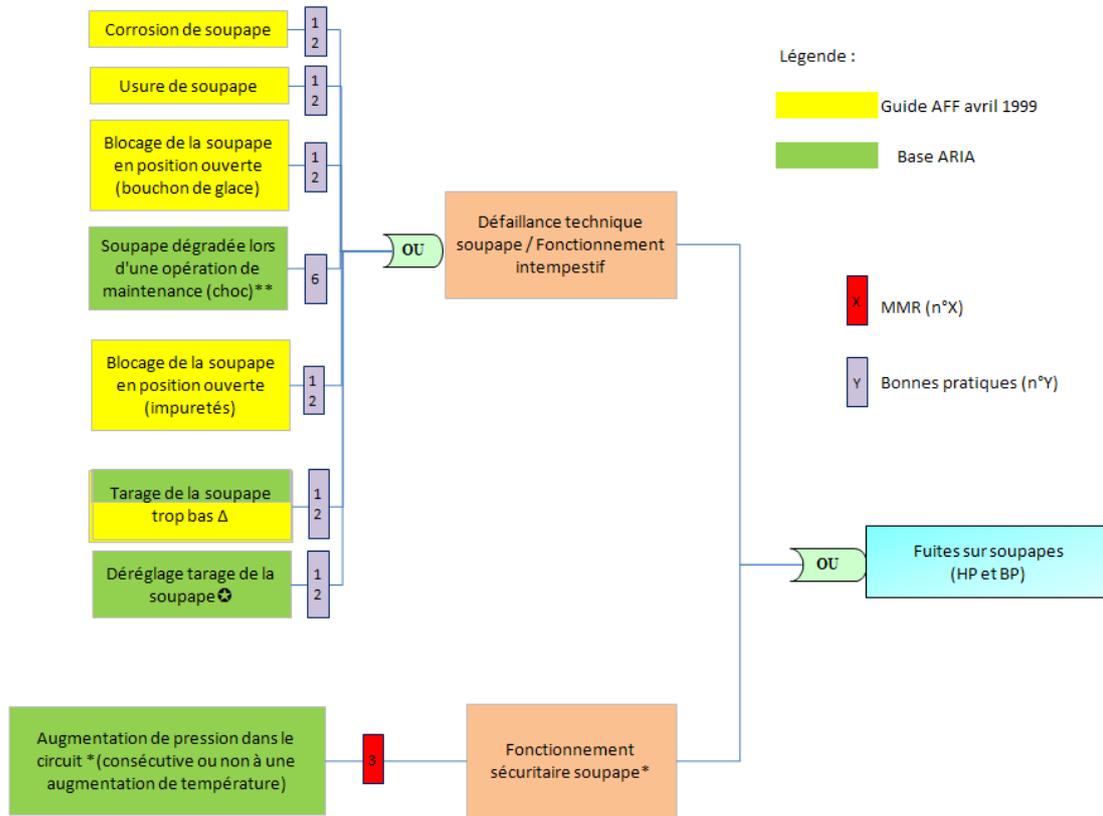
2.1.7 Perte de confinement en phase appoint ou vidange



⊗ Cf. base ARIA : défaillance d'un raccord vissé sur un flexible (cas Etranger)

Figure 27 : Arbre des causes – perte de confinement en phase appoint ou vidange

2.1.8 Fuite sur des soupapes



NOTA : cas de pollution des eaux pluviales en toiture sur rejet de soupapes

- * Cf. base ARIA : défaillance de pompe de circulation d'eau (cas Etranger)
défaillance de pressostat par manque d'entretien d'échangeurs à plaques remplies de calcaire (cas France)
augmentation de température par maintien de chauffe du séparateur d'huile en travaux (cas France)
opération de dégivrage trop rapide par arrêt du condenseur (ventilateurs) avec ou verture de soupape (cas France)
- ** Cf. base ARIA : arrachement de soupape par chariot élévateur (cas Etranger)
- ⊗ Cf. base ARIA : fuite au réglage de la soupape (cas Etranger)
- Δ Cf. ARIA : fuite sur soupape réfrigérant d'huile (cas France)
fuite ammoniac tarage trop faible soupape et augmentation de température dans une patinoire (cas Etranger)

Figure 28 : Arbre des causes – perte de confinement sur les soupapes

ANNEXE 6

Bonnes pratiques et mesures de sécurité : Rappel des exigences des textes réglementaires et de la norme NF EN 378

Cette annexe fait le lien entre les recommandations identifiées dans le rapport pour chaque mesure (de type bonnes pratiques ou mesures de maîtrise des risques) et les articles ou chapitres des textes réglementaires et des normes.

Dans un premier temps, les textes applicables sont rappelés.

1. TEXTES APPLICABLES AUX INSTALLATIONS DE REFRIGERATION A L'AMMONIAC

Les textes applicables aux installations soumises à autorisation sont de deux types :

- des réglementations applicables à la rubrique 1136 de la nomenclature actuelle (emploi d'ammoniac) et rubrique 4735 de la nomenclature applicable à compter du 1^{er} juin 2015 (transposition de la directive Seveso 3) :
 - l'arrêté du 16 juillet 1997 relatif aux installations de réfrigération employant l'ammoniac comme fluide frigorigène ; il est applicable aux installations de plus de 1,5 tonne d'ammoniac et ne concerne pas les installations frigorifiques à l'ammoniac qui sont incluses dans une installation de fabrication d'unité chimique dont l'exploitation est déjà soumise à autorisation ;
 - la circulaire n° 97-63 du 16/07/97 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement : Application de l'arrêté du 16 /07/97 relatif aux installations de réfrigération employant de l'ammoniac comme fluide frigorigène ;
 - la circulaire du 10/12/03 relative à application de l'arrêté ministériel du 16 juillet 1997 relatif aux installations de réfrigération employant l'ammoniac comme fluide frigorigène.
- la norme relative aux « Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d'environnement » ; la norme NF EN 378 se compose des parties suivantes :
 - partie 1 : Exigences de base, définitions, classification et critères de choix ;
 - partie 2 : Conception, construction, essais, marquage et documentation ;
 - partie 3 : Installation in situ et protection des personnes ;
 - partie 4 : Fonctionnement, maintenance, réparation et récupération.

Le respect de la norme EN 378-3 chapitre 5 est imposé dans la réglementation. Les autres parties de la norme ne sont pas d'application obligatoire.

D'autres réglementations plus générales applicables ne sont pas reprises dans ce document (réglementation équipement sous pression, déchets, eau...). De même les réglementations et normes citées ci-dessus font référence à d'autres normes qui ne sont pas reprises dans ce document.

2. PRINCIPES D'EVALUATION DES MESURES

2.1 EXIGENCES REGLEMENTAIRES

Les mesures de maîtrise des risques doivent répondre à des exigences réglementaires.

L'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à « l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation » fixe des exigences générales d'évaluation de performances.

- Article 4 :

« Pour être prises en compte dans l'évaluation de la probabilité, les mesures de maîtrise des risques doivent être efficaces, avoir une cinétique de mise en œuvre en adéquation avec celle des événements à maîtriser, être testées et maintenues de façon à garantir la pérennité du positionnement précité. »

- Article 5 :

« L'adéquation entre la cinétique de mise en œuvre des mesures de sécurité mises en place ou prévues et la cinétique de chaque scénario pouvant mener à un accident doit être justifiée. Cette adéquation est vérifiée périodiquement, notamment à travers des tests d'équipements, des procédures et des exercices des plans d'urgence internes. »

L'arrêté du 29 septembre 2005 requiert donc la vérification des quatre critères d'efficacité, de temps de réponse adapté, de testabilité et de maintenabilité doivent être vérifiés.

L'arrêté du 16 juillet 1997 relatif « aux installations de réfrigération employant l'ammoniac comme fluide frigorigène » donne des exigences plus ciblées qui sont explicitées dans les paragraphes suivants relatifs aux différentes MMR.

De manière générale, l'arrêté du 16 juillet 1997 impose aussi :

- un **système de conduite permettant au personnel d'identifier toute dérive et paramètres de conduite** ;
- des **équipements et paramètres de fonctionnement importants pour la sécurité** des installations, qui doivent répondre à des exigences de **conception éprouvée, de maintenabilité et de testabilité**.

- Ainsi, l'article 39 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise :

« Le dispositif de conduite des installations est conçu de façon que le personnel concerné ait immédiatement connaissance de toutes dérives des paramètres de conduite par rapport aux conditions normales d'exploitation.

L'exploitant détermine la liste des équipements et paramètres de fonctionnement importants, pour la sécurité des installations, en fonctionnement normal, en fonctionnement transitoire ou en situation accidentelle. Les paramètres importants pour la sécurité des installations sont mesurés, si nécessaire enregistrés en continu et équipés d'alarme.

Les équipements importants pour la sécurité sont de conception simple, d'efficacité et de fiabilité éprouvées. Ces caractéristiques doivent être établies à l'origine de l'installation, mais aussi être maintenues dans le temps. Les dispositifs sont conçus de manière à résister aux contraintes spécifiques liées aux produits manipulés à l'exploitation et à l'environnement du système (choc, corrosion, etc.). Ces dispositifs et en particulier, les chaînes de transmission sont conçus pour permettre de s'assurer périodiquement, par test de leur efficacité.

Ces équipements sont contrôlés périodiquement et maintenus en état de fonctionnement selon des procédures écrites. Les opérations de maintenance et de vérification sont enregistrées et archivées pendant trois ans.

Des consignes écrites doivent préciser la conduite à tenir en cas d'indisponibilité ou de maintenance de ces équipements.

- La circulaire du 10 décembre 2003 que « l'exploitant doit contrôler :
 - l'existence et la pertinence d'une liste de paramètres, ainsi qu'une procédure pour les contrôler ;
 - la réalisation effective de ces contrôles ;
 - la réalisation d'essais de mise en sécurité de l'installation (après préparation de ces essais pour éviter les accidents). »

Les résultats des essais seront consultés.

L'article 46 de l'arrêté du 16 juillet 1997 demande une alimentation électrique de secours en cas d'impossibilité de mettre en sécurité certains dispositifs de sécurité.

« Si l'installation ou l'appareillage conditionnant la sécurité ne peuvent être mis en position de sécurité en cas de défaillance de l'alimentation électrique normale, l'exploitant s'assurera de la disponibilité de l'alimentation électrique de secours et cela particulièrement à la suite de conditions météorologiques extrêmes (foudre, températures extrêmes, etc.). »

La circulaire du 10 décembre 2003 précise que l'exploitant doit contrôler « l'existence d'une alimentation électrique secourue. »

La gestion des MMR passe par la réalisation de procédures écrites :

- Procédures écrites de contrôle périodique et de maintien en état ;
- Enregistrement des opérations de tests et maintenance ;
- Consignes écrites de conduite à tenir en cas d'indisponibilité de la MMR.

2.2 METHODES D'ÉVALUATION DES BARRIERES DE SECURITE

Les barrières de sécurité pourront être évaluées en suivant la méthodologie :

- Oméga 10 pour les barrières techniques de sécurité ;
- Oméga 20 pour les barrières humaines de sécurité ou fiche n°7 de la circulaire du 10 mai 2010.

Ces méthodes sont accessibles sur le site internet de l'INERIS.

L'évaluation s'appuie sur les évaluations individuelles de chaque élément de la barrière (détection, traitement, action) mais c'est l'évaluation de la barrière globale qui est retenue dans les évaluations de probabilité des événements.

Les critères d'évaluation (communs aux barrières techniques et humaines) sont :

- **L'indépendance** : faculté d'une barrière, de par sa conception, son exploitation et son environnement, à ne pas dépendre du fonctionnement d'autres éléments et notamment d'une part d'autres barrières, et d'autre part, du système de conduite de l'installation, afin d'éviter les modes communs de défaillance ou de limiter leur fréquence d'occurrence.
- **L'efficacité** : Capacité à remplir la mission/fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation
- **Le temps de réponse** : Ce temps de réponse est inclus dans la cinétique de mise en œuvre d'une fonction de sécurité, cette dernière devant être en adéquation [significativement plus courte] avec la cinétique du phénomène qu'elle doit maîtriser
- **Le niveau de confiance** : il traduit la fiabilité de la barrière ;
- **Le maintien des performances** des barrières (testabilité, maintenabilité).

Le mode commun de défaillance doit être étudié. Il doit être pris en compte dans les évaluations des probabilités des phénomènes dangereux et accidents majeurs.

L'indépendance vis-à-vis des dispositifs de conduite pour les arrêts d'urgence et la mise en sécurité électrique des installations est requise explicitement dans la réglementation. Ainsi l'article 39 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « *Des dispositions sont prises pour permettre, en toute circonstance, un arrêt d'urgence et la mise en sécurité électrique des installations. Les dispositifs utilisés à cet effet sont indépendants des systèmes de conduite. Toute disposition contraire doit être justifiée et faire l'objet de mesures compensatoires. Les systèmes de mise en sécurité électrique des installations sont à sécurité positive.* »

3. BONNES PRATIQUES DE PREVENTION

3.1 FORMATION ET EXERCICES

❖ Formation des responsables et intervenants

L'exploitation doit se faire sous la responsabilité d'une personne nommément désignée et formé.

L'article 10 de l'arrêté du 16 juillet 1997 indique que « l'exploitation doit se faire sous la surveillance d'une personne nommément désignée par l'exploitant et spécialement formée aux dangers de l'ammoniac et aux spécificités des installations le mettant en œuvre. »

Les personnes intervenant sur les appareils à pression doivent être formées.

- L'article 12 de l'arrêté du 16 juillet 1997 indique : « Conformément aux dispositions de la réglementation des appareils à pression, le mode opératoire de soudage, les contrôles des soudures et l'aptitude professionnelle des soudeurs doivent faire l'objet d'une qualification. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 qu'il est nécessaire de « vérifier que les soudures ont été faites suivant les règles. » Pour cela les procédures sont consultées. De manière plus générale, la circulaire demande la consultation des dossiers canalisations et appareils à pression à la vérification de l'existence de procédures en cas de modification ou en cas de réparation.

❖ Formation et exercices réguliers

Le personnel de conduite ou pouvant intervenir sur les installations doit être formé au risque de l'ammoniac et bénéficier d'exercices réguliers d'intervention et de conduite en marche dégradée.

- L'article 54 de l'arrêté du 16 juillet 1997 indique que « L'exploitant doit veiller à la qualification professionnelle et à la formation sécurité de son personnel.
- Une formation spécifique est assurée pour le personnel affecté à la conduite ou à la surveillance des installations frigorifiques ainsi qu'au personnel non affecté spécifiquement à celles-ci, mais susceptible d'intervenir dans celles-ci.
- Cette formation doit notamment comporter :
 - toutes les informations utiles sur l'ammoniac ;
 - les explications nécessaires pour la bonne compréhension des consignes ;
 - des exercices périodiques de simulation d'application des consignes de sécurité prévues par le présent arrêté, ainsi qu'un entraînement régulier au maniement des moyens de protection et d'intervention affectés à leur établissement. A la demande de l'inspecteur des installations classées, l'exploitant devra justifier les exercices qui ont été effectués ;
 - un entraînement périodique à la conduite des installations frigorifiques en situation dégradée vis-à-vis de la sécurité et à l'intervention sur celles-ci. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que pour contrôler la compétence du responsable de la surveillance de l'exploitation (stage sécurité ammoniac et vérification de la compétence technique), les attestations de stage sont à consulter.

- D'autre part, pour s'assurer de la formation du personnel, la circulaire précise que « *l'exploitant doit contrôler* :
 - formation du personnel à la sécurité ;
 - exercices périodiques ;
 - poser des questions relatives à la sécurité au personnel technique susceptible d'intervenir en cas d'accident ;
 - organisation d'exercices périodiques incendie et ammoniac (si possible avec la participation des sapeurs pompiers locaux ;
- Les comptes-rendus des exercices périodiques seront consultés. »

3.2 CONNAISSANCE DE LA QUANTITE D'AMMONIAC DANS L'INSTALLATION

La quantité d'ammoniac dans l'installation (circuit ou en réserve) doit être connue à tout moment. Un registre à jour doit exister ; les mouvements d'ammoniac doivent être justifiés.

- L'article 7 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « L'exploitant doit tenir à jour un état indiquant la quantité d'ammoniac présente dans l'installation, le cas échéant stockée en réserve ainsi que les compléments de charge effectués. Cet état doit être tenu à la disposition de l'inspecteur des installations classées. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise qu'un registre de consommation mis à jour doit exister et que les mouvements de fluide doivent être justifiés.

3.3 PROCEDURES ET CONSIGNES OPERATOIRES (MESURE N°1)

❖ Procédures de conduite et d'exploitation

Des procédures écrites doivent exister donnant les **règles de conduite de l'installation**.

Les **consignes opératoires particulières telles que la purge d'huile, le remplacement de flexibles, le remplissage en ammoniac, la vidange**, doivent être explicités.

Des consignes et procédures écrites doivent exister précisant les **contrôles à effectuer au cours des différentes phases** :

- marche normale ;
- mise à l'arrêt (normal ou prolongé) ;
- remise en service après arrêt.

Il peut s'agir d'arrêt normal ou prolongé, lié par exemple à des opérations de modification, de maintenance.

Les **contrôles concernent notamment le contrôle des dispositifs de sécurité** et de traitement des pollutions.

- L'article 6 de l'arrêté du 16 juillet 1997 rappelle que « les consignes et les procédures d'exploitation de l'ensemble des installations doivent comporter explicitement la liste détaillée des contrôles à effectuer, en marche normale, à la suite d'un arrêt pour travaux de modification ou d'entretien des installations et à la remise en route après un arrêt prolongé pour d'autres causes que les travaux de maintenance et d'entretien. Elles doivent être tenues à disposition de l'inspection du travail et de l'inspection des installations classées. »

- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que « l'existence de telles procédures doit être vérifiée (existence de règles de conduite de l'installation, de procédures en marche normale, de procédures pour mise à l'arrêt normal, de procédures pour mise à l'arrêt prolongé, de consignes opératoires particulières : purge huile, remplacement de flexibles (par exemple sur congélateurs à plaques), charge de l'ammoniac, travaux). »
- L'article 52 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que : « les opérations pouvant présenter des risques (manipulation, etc.) doivent faire l'objet de consignes écrites tenues à jour et affichées dans les lieux fréquentés par le personnel. Ces consignes doivent notamment indiquer :
 - la fréquence de contrôle des dispositifs de sécurité et de traitement des pollutions et nuisances générées ;
 - [...] »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que les consignes de sécurité doivent être mises à jour et qu'il est nécessaire de s'assurer qu'elles sont bien affichées et connues par le personnel.

❖ **Maîtrise des travaux par points chauds**

Des procédures doivent être écrites pour les travaux incluant les permis de feu.

- L'article 52 précise par rapport aux travaux : « Les opérations pouvant présenter des risques (manipulation, etc.) doivent faire l'objet de consignes écrites tenues à jour et affichées dans les lieux fréquentés par le personnel.
- Ces consignes doivent notamment indiquer :
 - [...];
 - les instructions de maintenance et de nettoyage, dont les permis de feu. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que les consignes de sécurité doivent être mises à jour et qu'il est nécessaire de s'assurer qu'elles sont bien affichées et connues par le personnel.

❖ **Maîtrise des dysfonctionnements des installations électriques**

Des procédures de contrôle des installations électriques doivent exister et des rapports de contrôle établis.

- L'article 46 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « Toutes les installations électriques doivent être entretenues en bon état et doivent être contrôlées après leur installation ou modification. Un contrôle doit être effectué par un organisme agréé tous les trois ans au moins. Cet organisme doit très explicitement mentionner les défauts relevés dans son rapport de contrôle. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que les vérifications suivantes doivent être faites :
 - « existence d'une procédure de contrôle des installations électriques ;
 - existence d'un contrôle triennal des installations électriques ;
 - vérifier que les contrôles sont bien faits et réalisés par un organisme agréé ;
 - vérification de l'éclairage (sécurité ADF) avec alimentation séparée ;
 - existence d'une alimentation électrique secourue ;
 - Pour cela les rapports de contrôles électriques et les procédures de contrôles électriques seront consultés.

❖ **Précisions**

Bien que ce ne soit pas explicite dans la réglementation, des procédures doivent exister aussi concernant l'entreposage des bouteilles, la surveillance du local technique par un employé travaillant seul.

3.4 VERIFICATIONS REGLEMENTAIRES (MESURE N°2)

Des visites ou vérifications de l'installation par une personne compétente doivent être réalisées :

- au moins une fois par an (inspection annuelle)
- avant la première mise en service (vérification) ;
- à la suite d'un arrêt prolongé du système de réfrigération, après une modification notable ou après des travaux de maintenance ayant nécessité un arrêt de longue durée (vérification).

Les vérifications font l'objet d'un compte-rendu.

En particulier, l'état des tuyauteries doit faire l'objet de contrôles réguliers, tracés. L'étanchéité des réservoirs doit aussi être contrôlée.

- L'article 9 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise qu' « avant la première mise en service ou à la suite d'un arrêt prolongé du système de réfrigération, après une modification notable au sens de l'article 20 du décret du 21 septembre 1977 susvisé ou après des travaux de maintenance ayant nécessité un arrêt de longue durée, l'installation complète doit être vérifiée. Cette vérification est à réaliser par une personne ou une entreprise compétente; désignée par l'exploitant avec l'approbation de l'inspection des installations classées. Cette vérification doit faire l'objet d'un compte rendu écrit tenu à la disposition de l'inspecteur des installations classées inséré au dossier de sécurité. Les frais occasionnés par ces vérifications sont supportés par l'exploitant.
- Une visite annuelle de l'installation frigorifique est effectuée par une personne ou une entreprise compétente nommément désignée par l'exploitant avec l'approbation de l'inspection des installations classées. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 indique que tous les documents relatifs à l'installation doivent être accessibles pour les inspections à la mise en service et après arrêt prolongé.
- L'article 51 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Leur bon état de conservation doit pouvoir être contrôlé selon les normes et réglementations en vigueur. Ces contrôles donnent lieu à compte rendu et sont conservés durant un an à la disposition de l'inspecteur des installations classées. »
- L'article 32 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « L'étanchéité du (des) réservoir(s) associé(s) doit pouvoir être contrôlée à tout moment. »
- L'article 56 précise : « Un contrôle d'étanchéité doit être effectué avant remplissage de l'installation et à l'issue de chaque intervention affectant le circuit emprunté par le frigorigène. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande une « procédure de contrôle des tuyauteries et de vérifier le contrôle périodique des tuyauteries comportant notamment un contrôle visuel (corrosion, ...) de celles-ci et de leurs protections. »
- Les rapports de contrôle seront consultés.

3.5 LIMITATION DE LA SURPRESSION (MESURE N°3)

3.5.1 Prévention des montées en pression

❖ Sources chaudes au niveau des évaporateurs et des condenseurs

L'installation est conçue pour limiter les montées en pression, notamment par rapport à la présence de sources chaudes.

Des mesures sont prises pour prévenir les montées en pression par échauffement lié à la présence d'une source chaude.

- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise que « Si les évaporateurs ou les refroidisseurs à air sont installés à proximité des sources de chaleur, des mesures effectives doivent être prises pour empêcher les évaporateurs ou les refroidisseurs d'être exposés à une chaleur excessive, qui provoque des pressions élevées.
- Les condenseurs et les réservoirs de liquides ne doivent pas être placés à proximité des sources de chaleur.
- Si une partie du circuit de réfrigération ou circuit du fluide frigorigène peut atteindre une température qui est supérieure à la température correspondant à la pression maximale admissible (par exemple en raison d'un système de dégivrage électrique, un système de dégivrage utilisant de l'eau chaude ou d'un nettoyage au moyen d'eau chaude ou de vapeur), le liquide qui y est contenu doit pouvoir s'échapper vers l'autre partie du système dans laquelle cette température plus élevée ne domine pas. Si nécessaire, le système doit être équipé d'un réservoir en liaison permanente avec l'appareil en question. »

❖ **Montée en température en sortie de compresseur**

Le compresseur est équipé de systèmes de régulation et de contrôle qui évitent une température excessive au refoulement du compresseur.

3.5.2 Pressostat

Un pressostat à l'aval du(des) compresseur(s) est usuellement utilisé comme 1^{ère} barrière de limitation de la pression. Il agit en détection de montée en pression et coupe le contacteur du compresseur.

Le pressostat doit répondre à des exigences d'indépendance avec la conduite et ne doit pas être électronique.

- La partie 2 de la norme NF EN 378 précise : « Si les dispositifs électromécaniques sont utilisés pour protéger le système de réfrigération contre les excès de pression, ils ne doivent pas être utilisés à des fins de commande. [...] Les commandes électroniques ne doivent pas être utilisées en tant que dispositifs de sécurité pour limiter la pression. »
- Au § 6.2.6, elle précise : « Si possible, des dispositifs de limitation de la pression doivent être utilisés pour arrêter la surpression avant de solliciter le dispositif limiteur de pression. »

3.5.3 Soupapes de sécurité

❖ Equipements équipés de soupapes

Deux types d'installations doivent être protégés contre la surpression par la mise en œuvre de soupapes : il s'agit des capacités et de toute partie d'installation contenant de l'ammoniac liquide pouvant être isolée en phase normale.

A noter que des tuyauteries liquides isolables par des vannes manuelles qui ne peuvent pas être fermées par d'autres personnes que des personnes compétentes et avec un outil spécifique n'ont pas été protégées par des dispositifs de limitation de la pression.

- L'article 49 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Un dispositif limiteur de pression doit être placé sur toute enceinte ou portion de canalisation, qui en régime normal peut être isolé par la fermeture d'une ou de plusieurs vannes sur phase liquide. » L'article 50 précise : « Chaque réservoir est équipé en toutes circonstances, hormis pendant le temps de remplacement immédiat pour entretien, de deux dispositifs limiteurs de pression au moins, montés en parallèle et ayant une pression de levée au plus égale à la pression maximale en service. Si n est le nombre de dispositifs limiteurs de pression, n-1 dispositifs limiteurs de pression doivent pouvoir évacuer le gaz de telle sorte que la pression à l'intérieur du réservoir n'excède jamais plus de 10% la pression maximale de service. »
- La partie 2 de la norme NF EN 378 précise (§ 6.2.6.2 – Figure 1) que « pour sections liquides isolables, la protection peut être assurée en ayant un robinet normalement ouvert qui ne peut être fermé que par une personne compétente et avec un outil. »
- Au § 6.2.6, elle précise : « le système de réfrigération et le circuit caloporteur à eau chaude doivent être protégés par des dispositifs de protection. [...] La protection du système (réceptif, compresseur..) dépend de ses caractéristiques :
 - 1 ou 2 dispositif sur chaque réceptif ; 2 sont requis avec robinet de substitution si réceptif de catégorie IV ;
 - pour un compresseur volumétrique entraînant un volume > 25 L/s, 1 dispositif limiteur de pression en parallèle à 1 ou 2 pressostats de sécurité. »

❖ Mesures relatives à l'échappement des soupapes

Le rejet des différentes soupapes doit être collecté en zone sûre et doit permettre d'éviter les réintroductions d'ammoniac dans les bâtiments ou la salle des machines. Usuellement le rejet s'effectue en toiture de bâtiment.

La contrepression au refoulement doit être limitée et compatible avec la conception de la soupape. En particulier, l'isolement par des vannes ou l'obstruction ne doivent pas être possibles.

La décharge simultanée des soupapes doit être possible.

- L'article 49 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « Les échappements des dispositifs limiteurs de pression (soupapes, disques de rupture, etc.) doivent être captés sans possibilité d'obstruction accidentelle. Si le rejet peut entraîner des conséquences notables pour l'environnement et les personnes, il doit être relié à un dispositif destiné à recueillir ou à neutraliser l'ammoniac (réservoirs de confinement, rampe de pulvérisation, tour de lavage, etc.) »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise (§ 5.10) : « Les tuyaux de décharge provenant des dispositifs limiteurs de pression, des soupapes de sécurité et des bouchons fusibles peuvent diffuser la charge dans l'air par des moyens adéquats mais loin de toute prise d'air du bâtiment ou peuvent décharger en quantité adéquate dans un matériau absorbant approprié. »
- La partie 2 de la norme précise (§ 6.2.6) que : « l'échappement ne doit pas mettre en danger les biens et les personnes. [...] La possibilité de recueil d'eau dans le circuit de collecte, de gel dans les tuyauteries, d'accumulation de poussières ou de débris doit être prise en compte. [...] Il ne doit pas y avoir de robinets d'isolement dans les conduites d'entrée ou de sortie des dispositifs de limiteurs de pression. ».

Note : L'intensité des effets du rejet doit être évaluée dans l'étude de dangers.

Note : le rejet des soupapes dans la salle des machines est proposé sous conditions dans la norme uniquement pour les fluides de type A1, excluant ainsi l'ammoniac.

❖ Indication de l'ouverture des soupapes

La partie 2 de la norme NF EN 378 demande (pour les installations de plus de 300 kg d'ammoniac) la présence d'un indicateur pour savoir si la soupape a déchargé à l'atmosphère (§6.2.6.5)

Ainsi, « Un indicateur doit être prévu pour vérifier, pendant la maintenance, si la soupape a déchargé à l'atmosphère ». Ce peut être : « un piège en U rempli d'huile, un manomètre indiquant le maximum entre la soupape et le disque de rupture, une installation en amont des disques de rupture avec surveillance discontinue et dispositif d'alarme de pression (limiteur de pression) [...], un capteur de gaz dans la conduite de refoulement, utilisation de soupapes avec joint doux, surveillance de la pression de la section protégée et dispositif d'alarme à la station surveillée en permanence [...] ».

❖ Position des soupapes

La partie 2 de la norme précise que (§ 6.2.6.6) : « Les dispositifs limiteurs de pression sont raccordés au dessus de la phase liquide, à l'exception des dispositifs de protection contre les effets de dilatation du liquide. »

3.6 PREVENTION DES EFFETS DES VIBRATIONS (MESURE N°4)

Les compresseurs volumétriques présents dans l'installation sont susceptibles d'engendrer des vibrations pouvant conduire à des fuites en cas de vibrations excessives.

Les bonnes pratiques consistent à réaliser une étude des vibrations et de prévoir régulièrement (au moins une fois tous les trois ans) des contrôles de vibrations sur les équipements motorisés.

- L'article 25 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « si un risque de vibration existe, l'étude de ses effets sur les catégories de construction ou ouvrage doit être confiée à des personnes compétentes ou à un organisme qualifié et conformément aux règles techniques annexées à la circulaire du 23 juillet 1986 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement. La périodicité et la nature de ces contrôles doivent être définies en accord avec l'inspecteur des installations classées. »
- La circulaire du 10 décembre 2010 précise qu'une « étude relative aux vibrations induites par les équipements motorisés doit exister, et qu'il faut veiller au respect de la périodicité des contrôles définis en accord avec l'inspecteur et au moins une fois tous les trois ans (cf. arrêté type 1136) ».
- La partie 2 de la norme NF EN 378 (§ 6.2.3.3.4) précise que « des dispositions doivent être prises pour éviter des pulsations ou des vibrations excessives. Des mesures particulières doivent être prévues pour empêcher la transmission directe du bruit ou des vibrations à ou à travers les structures de supports et aux équipements connectés. » La norme note qu'« il convient d'effectuer l'évaluation des vibrations ou des pulsations lorsque le système est en service, à la température de condensation maximale et dans les conditions initiales et d'arrêt qui ont l'effet le plus nuisible sur les tuyauteries. »

3.7 PREVENTION DES COUPS DE LIQUIDE (MESURE N°5)

L'installation doit être conçue pour prévenir les coups de liquide, au niveau des tuyauteries et en amont des compresseurs.

Un des dispositifs requis est la mise en place d'un indicateur de niveau sur les capacités de liquide. Un dispositif anti coup de liquide est également requis en amont des compresseurs.

- L'article 47 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Toutes dispositions doivent être prises pour éviter un retour d'ammoniac liquide en entrée des compresseurs en fonctionnement normal ou dégradé des installations de production de froid. » L'article 50 précise « Les capacités accumulatrices (réservoirs basse pression, moyenne pression, haute pression) doivent posséder un indicateur de niveau permettant d'en contrôler le contenu. »

- La partie 2 de la norme NF EN 378 indique (§ 6.2.3.3.4) : « les tuyauteries des systèmes de réfrigération doivent être conçues et installées de façon à ce que les coups de bélier (choc hydraulique) ne puissent pas endommager le système. »
- La partie 2 de la norme NF EN 378 indique (§ 6.2.7.3) : « les réservoirs contenant plus de 25 kg d'ammoniac (B2) et qui peuvent être isolés doivent être équipés d'un indicateur de niveau de liquide » Au § 6.2.8 il est précisé : « les systèmes doivent être conçus de telle sorte que l'ammoniac, l'huile ou un mélange ne puisse retourner et endommager le compresseur. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande, en lien avec l'article 47, sur la base de la documentation réglementaire sur les appareils à pression, de procéder au contrôle :
 - existence de la documentation réglementaire sur les appareils à pression ;
 - contrôle des appareils à pression et des canalisations ;
 - contrôle visuel des appareils à pression, des canalisations et de leurs accessoires ;
 - des arrêts d'urgence ;
 - des dispositifs anti-coup de liquide ;
 - contrôle des dispositifs d'arrêt du compresseur ;
 - vérification de l'absence du retour possible d'ammoniac liquide (dispositif anti-coup de liquide).
- Elle précise aussi, en lien avec les articles 49/50, sur la base du plan des circuits d'ammoniac, de contrôler :
 - « existence de dispositif de décharge sur la ligne liquide (sur plan) et de soupapes sur la phase gazeuse ;
 - contrôle périodique des soupapes ;
 - protection contre les chocs ;
 - présence des soupapes et dispositifs de décharge (soupapes double montées sur robinet inverseur pour les capacités) ;
 - vérification de leur marquage (tarage et débit) ;
 - contrôle périodique des soupapes (cf. IPS) ;
 - position des évacuations ;
 - des indicateurs de niveau. »
- L'arrêté du 25 avril 1979 (cf. annexe A) précise que les compresseurs volumétriques doivent être équipés d'un dispositif anti coup de liquide.

3.8 PREVENTION DES CHOCS ET BRIS MECANQUES (MESURE N°6)

Pour prévenir les pertes de confinement par chocs ou bris mécaniques sur les capacités, les tuyauteries ou les organes sensibles (vannes de purges, fûts de transvasement...), ces équipements doivent être protégés. Selon leur position on retient les dispositions suivantes :

- Protection par des gardes métalliques suffisamment robustes ou murs de rétention pour les équipements n'étant pas au plafond ;
- Installation en hauteur des équipements ; on veillera cependant à ce qu'ils soient protégés vis-à-vis de l'empilement des charges (cas des évaporateurs dans les entrepôts frigorifiques) ;
- Supports suffisamment rapprochés et résistants (vis-à-vis des impacts ou des surpoids liés par exemple à des excès de givre sur des évaporateurs).

- L'article 51 de l'arrêté du 16 juillet 1997 donne une recommandation générale pour les tuyauteries « Elles doivent être efficacement protégées contre les chocs. ». L'article 49 précise : « Les installations, et en particulier les réservoirs, canalisations, équipements contenant de l'ammoniac liquide, gazeux ou biphasique, doivent être protégées pour éviter d'être heurtées ou endommagées par des véhicules, des engins ou des charges, etc. A cet effet, il doit être mis en place des gabarits pour les canalisations aériennes, les installations au sol et leurs équipements sensibles (purge, etc.) et des barrières résistant aux chocs. »
- L'article 55 relatif aux opérations de transvasement précise : « Le véhicule-citerne doit être disposé de façon qu'il ne puisse au cours de manœuvre endommager l'équipement fixe ou mobile servant au transvasement ainsi que tout autre équipement ou dispositif de sécurité de l'installation de réfrigération. De plus, il doit être immobilisé la cabine face à la sortie. »

3.9 PREVENTION DE LA CORROSION (MESURE N°7)

Les équipements doivent être protégés contre la corrosion. Les tuyauteries doivent être conçues avec les matériaux et revêtements adaptés en respectant les réglementations (équipements sous pression, compresseurs...).

Des vérifications réglementaires doivent aussi avoir lieu régulièrement (cf. 3.3).

- L'article 51 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que les tuyauteries « doivent être efficacement protégées contre la corrosion. [...] Les canalisations sont maintenues parfaitement étanches. Les matériaux utilisés pour leur réalisation et leurs dimensions doivent permettre une bonne conservation de ces ouvrages. »
- L'article 47 de l'arrêté du 16 juillet 1997 fait un lien avec les réglementations. « L'installation doit être conforme en tous points à la réglementation en vigueur concernant les appareils à pression de gaz, les compresseurs frigorifiques et les canalisations d'usine. La prise en compte des normes en vigueur est recommandée pour l'installation de production et de mise en œuvre du froid. Les matériaux servant à la fabrication des tuyauteries vannes et raccords pouvant être soumis à des basses températures doivent avoir une résistance suffisante pour être en toute circonstance, exempts de fragilité. »
- L'article 2 indique « La conception, la réalisation et l'entretien des installations doivent prendre en compte les risques de corrosion due aux phénomènes de condensation de l'humidité de l'air. »
- La partie 2 de la norme NF EN 378 (§ 6.2.3.3.4) précise que « les tuyaux et les composants en acier doivent être protégés contre la corrosion à l'aide d'un revêtement antirouille, en particulier avant de poser toute isolation. Les adhésifs utilisés pour l'isolation ne doivent pas réagir ou dissoudre la couche inoxydable appliquée. »

3.10 PREVENTION DES FUITES SUR DES ORGANES OU DES TUYAUTERIES (MESURE N°8)

❖ Organes reliés directement à l'atmosphère

Pour prévenir les fuites sur les organes directement reliés à l'atmosphère, la norme précise : « Les sorties des vannes en communication directe avec l'atmosphère sont obturées (bouchons de fin de ligne etc.). »

- La partie 2 de la norme NF EN 378 (§ 6.2.3.4.2.2) indique que « les tuyauteries non utilisées en temps normal doivent être équipées d'un capuchon démontable ou non ou d'un dispositif équivalent. » Elle indique aussi que « les dispositifs d'arrêt, qu'il n'est pas prévu d'actionner en marche normale, doivent être protégés contre toute manipulation non autorisée. »

❖ Dilatation et contraction des tuyauteries

Les tuyauteries sont équipées de systèmes pour faire face aux dilatations et contractions.

La partie 2 de la norme NF EN 378 (§ 6.2.3.3.4) précise que « des dispositions doivent être prises pour la dilatation et la contraction des grandes longueurs de tuyauteries. »

❖ Protection des flexibles

La partie 2 de la norme NF EN 378 précise que « les éléments de tuyaux flexibles doivent être protégés contre les dommages mécaniques, les contraintes excessives par torsion ou par d'autres forces. Des dispositions pour des contrôles réguliers (inspection visuelle) doivent être prises. »

❖ Limitation des fuites sur la pompe de transfert d'ammoniac

La règle de l'art consiste à utiliser des pompes avec moteur hermétique ou des pompes avec double étanchéité.

Le fonctionnement à vide de la pompe doit être surveillé. Le risque en cas d'absence de fluide est d'endommager le système d'étanchéité et les garnitures.

Pour prévenir l'endommagement de la pompe par cavitation, si une vanne automatique est installée en amont de la pompe et que cette vanne peut être commandée à distance, la commande devra aussi arrêter la pompe. Un pressostat différentiel entre amont et aval de la pompe permet de prévenir un endommagement de la pompe par cavitation..

Ces exigences sont issues de la norme (partie 2, annexe A).

3.11 PREVENTION ECHAUFFEMENT DU MOTEUR (MESURE N°9)

On se reportera aux systèmes de conduite et de régulation décrits dans le chapitre sur la description des installations.

3.12 PREVENTION DES ERREURS SUR INTERVENTION (MESURE N°10)

Ce chapitre présente les mesures générales de prévention des erreurs sur intervention (ce ne sont pas des MMR en tant que telles).

Puis les mesures spécifiques relatives aux interventions particulières sont explicitées :

- opérations de purges,
- transvasement.

3.12.1 Dispositions générales aux interventions

Pour prévenir les erreurs en phase d'intervention, des consignes d'intervention doivent être rédigées pour toutes les phases d'intervention (cf. § 3).

Le repérage des équipements (tuyauteries et vannes) doit être fait correctement.

- L'article 8 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « les vannes et les tuyauteries doivent être d'accès facile et leur signalisation conforme aux normes applicables ou à une codification reconnue. Les vannes doivent porter de manière indélébile le sens de leur fermeture. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 que l'accessibilité et la signalisation des vannes et tuyauteries doivent être vérifiées.

3.12.2 Exigences sur les opérations de purge

Les points de purge sont susceptibles d'engendrer des fuites. Des mesures doivent être prises pour les prévenir : deux vannes dont une à contrepoids ou une seule vanne cumulant les deux fonctions d'arrêt automatique et d'arrêt manuel.

Un point de captage est demandé par la norme. En pratique, les purges d'air sont réalisées en connectant un flexible dans de l'eau. Les purges d'huile ne font pas intervenir de point de captage.

Une instruction du fabricant doit indiquer la marche à suivre pour réaliser les purges en minimisant les émissions.

- L'article 43 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Les points de purge doivent être munis de deux vannes, dont une à contrepoids ou équivalent, et doivent disposer d'un point de captage permettant de renvoyer le liquide ou le gaz vers un dispositif de neutralisation. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande le « *contrôle de la conformité de la purge d'huile.* »
- La partie 2 de la norme NF EN 378 précise (§ 6.2.3.4.2.2) : « Lorsque les instructions de service exigent des vidanges régulières d'huile, le fabricant doit fournir des instructions avec le moins d'émissions possibles dans l'environnement. sur la vidange. Pour les conduites de vidange d'huile utilisée en marche normale : des robinets d'arrêt automatiques doivent être installés s'il y a des risques de rejet d'ammoniac. [...] *Dans les séparateurs de liquides et les réservoirs, un robinet d'arrêt automatique doit être installé pour vidanger l'huile accumulée. Un robinet d'arrêt avec tige horizontale doit aussi être installé en amont de celui-ci, sinon un robinet cumulant les deux fonctions.* »

3.12.3 Exigences sur les points de transvasement (vidange ou remplissage)

Les phases de remplissage et de vidange d'installation peuvent générer des pertes de confinement.

Des mesures techniques sont prises pour :

- Eviter les fuites ;
- Collecter les fuites éventuelles.

Des mesures organisationnelles sont également prises (cf. chapitre 3).

❖ Utilisation de flexibles

Les flexibles utilisés doivent être contrôlés régulièrement et être équipés à leurs extrémités de dispositifs permettant d'interrompre le flux en cas de rupture.

Il existe une réglementation sur les flexibles incluant des recommandations sur le stockage (courbure à respecter) et des obligations de ré-épreuve régulière (ou de changement).

Pour des flexibles de diamètre < 25 mm (flexibles utilisées dans les réfrigérations ammoniac), il n'existe pas de dispositifs permettant d'interrompre le flux. Cependant un clapet anti-retour côté installation évite le retour d'ammoniac depuis l'installation. Les flexibles > 25 mm seraient équipés d'obturateur automatique mais ils ne sont pas utilisés pour les réfrigérations à l'ammoniac.

- L'article 57 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Lorsque le transvasement d'ammoniac est effectué à l'aide de flexibles, ceux-ci doivent être équipés conformément aux dispositions suivantes :
 - les flexibles doivent être protégés à chacune de leurs extrémités par des dispositifs de sécurité arrêtant totalement le débit en cas de rupture du flexible;
 - ces dispositifs doivent être automatiques et manœuvrables à distance pour des flexibles d'un diamètre supérieur au diamètre nominal 25 millimètres.

- Les flexibles doivent être utilisés et entreposés après utilisation de telle sorte qu'ils ne puissent subir aucune détérioration. En particulier, ils ne doivent pas subir de torsion permanente, ni d'écrasement.
- L'état du flexible, appartenant ou non à l'exploitant doit faire l'objet d'un contrôle avant toute opération de transvasement (règlement des transports de matières dangereuses, etc.). »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que l'exploitant doit contrôler :
 - « existence d'une procédure pour la recharge d'ammoniac dans l'installation ;
 - existence d'un document d'enregistrement des mouvements de fluide tenu à jour ;
 - contrôle périodique du flexible et des vannes ;
 - existence d'un document d'enregistrement du contrôle périodique du flexible.
- Les documents suivants pourront être consultés :
 - document d'enregistrement des mouvements de fluide ;
 - document d'enregistrement du contrôle périodique du flexible et des vannes ;
 - procédure de charge en ammoniac de l'installation ;
 - état de cette charge ;
 - document de conformité du flexible de charge (si ce document existe). »
- La partie 2 de la norme NF EN 378 précise que « les éléments de tuyaux flexibles doivent être protégés contre les dommages mécaniques, les contraintes excessives par torsion ou par d'autres forces. Des dispositions pour des contrôles réguliers (inspection visuelle) doivent être prises. »

❖ Suivi de procédures par du personnel compétent

Les personnes réalisant les opérations de transvasement doivent être spécialement formées.

- L'article 58 de la circulaire du 16 juillet 1997 impose : « Les personnes procédant au transvasement doivent être spécifiquement qualifiées et parfaitement informées de la conduite à tenir en cas d'accident. »

❖ Utilisation de fûts adaptés

Il faut veiller à l'utilisation de fûts adaptés, répondant à la réglementation des équipements sous pression.

❖ Entreposage des fûts ou bouteilles de transvasement

La bonne pratique consiste à stocker les bouteilles avant transvasement ou les fûts après vidange dans la salle des machines. Ainsi, en cas de fuite, la rétention de la salle des machines permet le recueil des épandages et l'extracteur automatique démarré sur détection d'ammoniac permet de réduire les effets au sol.

Cette pratique n'est pas imposée par la réglementation mais correspond à une bonne pratique.

3.13 PREVENTION DE LA DEPRESSION (MESURE N°11)

On se reportera aux systèmes de conduite et de régulation décrits dans le chapitre sur la description des installations.

3.14 PREVENTION DES EFFETS DES INCENDIES (MESURES N°12, 13, 14)

Des incendies sont possibles à l'extérieur de la salle des machines (par exemple dans les installations d'entreposage de denrées). Des effets dominos sont possibles et des mesures doivent être prises pour prévenir la propagation d'un incendie.

La salle des machines peut aussi être le siège d'incendies. Des mesures sont prises pour prévenir le développement et la propagation des incendies.

Les mesures relatives à l'incendie sont précisées dans ce paragraphe.

❖ Prévention des propagations d'incendie (mesure n°12)

Les locaux sont conçus pour éviter la propagation des incendies, ce qui implique des matériaux adaptés et des contraintes d'étanchéité des portes et passages de gaines et tuyauteries.

Une bonne pratique (non réglementaire) peut être de ne pas laisser les camions à proximité des quais en dehors de la période de transfert.

- L'article 2 de l'arrêté du 16 juillet 1997 rappelle que « Les bâtiments et locaux sont conçus et aménagés de façon à s'opposer efficacement à la propagation d'un incendie. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 (§ 5.15) spécifie : « Les portes doivent être hermétiques, raccordées, doivent se refermer automatiquement et être conçues de manière à pouvoir s'ouvrir de l'intérieur (système anti-panique).
- Les portes doivent être de construction coupe-feu résistant pendant au moins une heure, grâce à des matériaux et une construction soumis à essai conformément à l'EN 1634. [...] Les murs, planchers et plafonds entre l'intérieur du bâtiment et la salle des machines doivent être de construction coupe-feu résistant pendant au moins une heure et être hermétiquement scellés. [...] Les gaines de service doivent être scellées pour réduire au minimum les fuites dans la gaine de service et avoir la même résistance au feu que les murs et les portes. [...] La gaine de ventilation doit avoir la même résistance au feu que les portes et les murs de la salle des machines. » La norme précise aussi (§5.10) : « toutes les tuyauteries et conduites de ventilation traversant les murs, plafonds et planchers des salles des machines doivent être scellées lorsqu'elles traversent les murs, plafonds ou planchers. Le scellement doit avoir au minimum les mêmes propriétés de résistance à l'incendie que les murs, plafonds ou planchers.»

❖ Prévention des départs de feu dans la salle des machines (mesure n°13)

Des mesures sont prises pour prévenir les sources d'inflammation (permis de feu, interdiction de fumer...). Les locaux doivent être régulièrement nettoyés.

Le stockage de matières inflammables autres que celles utiles à l'installation (huile) n'est pas autorisé dans la salle des machines.

- L'article 44 de l'arrêté du 16 juillet 1997 rappelle que « Dans les installations où il existe un risque d'incendie ou d'explosion, il est interdit de fumer ou d'apporter du feu sous une forme quelconque ou encore d'utiliser des matériels susceptibles de générer des points chauds, sauf pour la réalisation de travaux ayant fait l'objet d'un permis de feu délivré et dûment signé par l'exploitant ou par la personne qu'il aura nommément désignée. » L'article 2 précise : « Les locaux doivent être maintenus propres et régulièrement nettoyés notamment de manière à éviter les amas de matières combustibles et de poussières. »

- L'article 52 précise que « les opérations pouvant présenter des risques (manipulation, etc.) doivent faire l'objet de consignes écrites tenues à jour et affichées dans les lieux fréquentés par le personnel. Ces consignes doivent notamment indiquer : [...] - les interdictions de fumer et d'apporter du feu sous une forme quelconque ; - les instructions de maintenance et de nettoyage, dont les permis de feu. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 (§5.7) précise : « Les salles des machines ne doivent pas être utilisées pour le stockage à l'exception de l'huile de compresseur nécessaire. Tout fluide frigorigène, tous matériaux inflammables ou toxiques doivent être stockés conformément aux réglementations nationales. » . Au §5.1, il est précisé : « les matériaux inflammables, autres que les fluides frigorigènes et l'huile nécessaires au service, ne doivent pas être stockés dans la salle des machines. »

❖ **Limitation des effets d'un incendie (mesure n°14)**

➞ Détection incendie et alarmes

Les installations (salle des machines, utilisateurs) doivent être équipées de détecteurs incendie. En cas de déclenchement, une alarme sonore et lumineuse est requise pour intervention éventuelle.

- L'article 48 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « L'exploitant doit implanter de façon judicieuse un réseau de détection incendie, au besoin en s'assurant du concours des services internes à l'établissement ou d'entreprises spécialisées. Tout déclenchement du réseau de détection incendie entraîne une alarme sonore et lumineuse localement et au niveau d'un service spécialisé de l'établissement (poste de garde, PC incendie, etc.). »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que les actions suivantes doivent être effectuées :
 - « vérification de la mise en place de la détection incendie avec dispositif d'alerte ;
 - vérification des détecteurs ;
 - vérification périodique du fonctionnement du système de détection. »
- Ces contrôles s'appuieront sur un plan de détection incendie.

➞ Moyens de lutte contre l'incendie

Des dispositifs d'extinction manuels doivent être installés. Ils sont alimentés par un réseau correctement dimensionné.

L'extinction automatique par eau est interdite en salle des machines.

Les installations d'extinction sont régulièrement entretenues et testées par un technicien qualifié.

- L'article 44 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « L'installation doit être pourvue en moyens de lutte contre l'incendie adaptés aux risques encourus, en nombre suffisant et correctement répartis sur la superficie à protéger. Leur nature et leur implantation sont définies en liaison avec l'inspection du travail et l'inspection des installations classées.
- Les canalisations constituant le réseau d'incendie sont indépendantes du réseau d'eau industrielle. Leurs sections sont calculées pour obtenir les débits et pressions nécessaires en tout lieu du site.
- Le réseau d'eau incendie doit être conforme aux normes et aux réglementations en vigueur.
- Les bouches, poteaux incendie ou prises d'eau diverses qui équipent le réseau seront munis de raccords normalisés. Ils doivent être judicieusement répartis dans l'installation, notamment à proximité des divers emplacements de mise en œuvre ou de stockage de liquides du gaz inflammables. Ces équipements doivent être accessibles en toute circonstance.
- Les installations de protection contre l'incendie doivent être correctement entretenues et maintenues en bon état de marche. Elles doivent faire l'objet de vérifications périodiques par un technicien qualifié. »

- La partie 3 de la norme NF EN 378 indique (§ 5.1) que, dans la salle des machines, « *des matériels adéquats de lutte contre l'incendie* » doivent être prévus. La norme précise (§ 5.17.2.3) : « *Les systèmes [automatiques] d'extincteur d'incendie (à eau) ne doivent pas être admis dans les salles des machines avec les systèmes de réfrigération contenant du R-717.* »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que doivent être vérifiés :
 - « l'existence d'un plan de sécurité incendie ;
 - la présence et de l'état de fonctionnement du matériel ;
 - existence de vérifications périodiques des installations de protection incendie. »
- Ces vérifications pourront se faire sur la base :
 - « d'un plan indiquant les détecteurs et les moyens d'intervention (extincteurs, RIA, poteaux d'incendie) ;
 - des comptes-rendus de vérification périodique des installations de protection incendie. »

↻ Intervention : exutoires de fumées

Pour permettre l'intervention, des exutoires de fumées à commandes automatique et manuelle doivent être installés en partie haute de la salle des machines, avec des commandes manuelles situées à l'extérieur de la salle des machines, près des accès.

- L'article 45 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « Les salles de machines doivent être équipées en partie haute de dispositifs à commande automatique et manuelle permettant l'évacuation des fumées et gaz de combustion dégagés en cas d'incendie. Les commandes d'ouverture manuelle sont placées à l'extérieur du risque et à proximité des accès. Les commandes des dispositifs d'ouverture doivent facilement être accessibles. »

4. MESURES DE PROTECTION / LIMITATION VIS-A-VIS DE LA FUITE TOXIQUE

4.1 ELEMENTS DES MMR

Ce paragraphe liste les éléments des différentes MMR. Rappelons que c'est la MMR globale qui doit être évaluée pour être prise en compte dans l'évaluation probabiliste.

Des exigences réglementaires et normatives sont précisées ; elles peuvent être utilisées pour évaluer les performances des MMR.

4.1.1 Détection de fuite : détection gaz

❖ Nécessité d'une détection gaz

Les installations où se situent de l'ammoniac doivent être équipées d'une détection gaz et d'un système d'alarme. Cette exigence concerne la salle des machines mais également les locaux techniques avec des risques de fuites (stations de vannes).

- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « Les installations pouvant présenter un danger pour la sécurité ou la santé des personnes doivent être munies de systèmes de détection et d'alarme adaptés aux risques et judicieusement disposés de manière à informer rapidement le personnel de tout incident. [...] Des détecteurs de gaz sont mis en place dans les zones présentant les plus grands risques en cas de dégagement ou d'accumulation importante de gaz ou de vapeurs toxiques. »

- La circulaire du 10 décembre 2010 que « l'exploitant contrôle :
 - vérification de la conformité du plan de détection à la réalité du site ;
 - pertinence de l'implantation de la détection ;
 - essais périodiques de vérification de son efficacité (après préparation de ces essais pour éviter les accidents), qui doivent être enregistrés ;
 - vérification de l'existence et de la tenue d'un document d'enregistrement relatant les déclenchements, comportant un compte-rendu des causes et du traitement de celles-ci ;
 - vérifier que la ventilation fonctionne après déclenchement du premier seuil d'alarme ;
 - vérification de la mise en sécurité effective de l'installation après déclenchement du second seuil d'alarme. »
- L'exploitant s'appuiera pour cela sur :
 - « plan d'implantation de la détection ammoniac
 - compte-rendu des essais de détection ammoniac. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise (§ 8.7) « afin d'avertir du risque d'explosion ou d'incendie des équipements dans une salle des machines spéciale, et pour des besoins de commande lorsque la charge est supérieure à 50 kg, un détecteur d'ammoniac est requis. »

Note : la norme (§ 8.7) demande également l'installation de détecteurs d'ammoniac dans le circuit de fluide frigorigène dans le cas des systèmes indirects. « Les détecteurs de R-717 doivent être incorporés dans le circuit de transfert de chaleur de systèmes indirects, par exemple des circuits d'eau ou de glycol, pour détecter la présence de fluide frigorigène dans le circuit, si la charge en R-717 est supérieure à 500 kg. Ces détecteurs doivent déclencher une alarme dans la salle des machines et, si possible, à l'interface système de commande/opérateur, mais ils ne doivent ni déclencher de balises ou d'avertisseurs sonores ni initier une évacuation. »

Note : pour les installations situées à l'extérieur (condenseur en terrasse par exemple), la détection gaz est également recommandée ; le maillage devra permettre de couvrir les fuites dans toutes les directions. D'autres systèmes pourront être envisagés (pression basse...). L'efficacité de la détection sera accrue en cas de capotage des zones à risque avec installation des détecteurs au niveau du capotage.

❖ Asservissements

La détection gaz est équipée de deux seuils de sécurité qui déclenchent les asservissements en deux temps :

- 1^{er} seuil : alarme et ventilation d'urgence ;
 - 2^{ème} seuil : en plus, mise en sécurité des installations, alarme générale.
- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « L'exploitant fixera au minimum les deux seuils de sécurité suivants:
 - le franchissement du premier seuil entraînera le déclenchement d'une alarme sonore ou lumineuse et la mise en service, de la ventilation additionnelle, [...] ;
 - le franchissement du deuxième seuil entraînera, en plus des dispositions précédentes, la mise à l'arrêt en sécurité des installations, une alarme audible en tous points de l'établissement et, le cas échéant, une transmission à distance vers une personne techniquement compétente (ce seuil est au plus égal au double de la valeur choisie pour le 1er seuil).
 - Les détecteurs fixes doivent déclencher une alarme sonore ou visuelle retransmise en salle de contrôle. »

- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise :
 - « Au niveau bas d’alarme, une alarme et la ventilation mécanique doivent être actionnées.
 - Au niveau haut d’alarme, le système de réfrigération doit être automatiquement arrêté. Au niveau haut d’alarme, l’alimentation électrique pour le fluide frigorigène vers la salle des machines spéciale doit également être arrêtée, ainsi que le système de ventilation mécanique d’urgence à moins qu’il existe des dispositions particulières (voir 5.17.1.2). »

❖ Seuils et nature des détecteurs

Le choix des seuils et des technologies de détecteurs dépend des risques envisagés. Dans les locaux avec du personnel, les effets toxiques sont recherchés et les seuils sont adaptés au temps de présence du personnel.

Dans la salle des machines où le personnel n’est présent que de manière occasionnelle, les seuils retenus sont usuellement 2000 ppm et 4000 ppm (double du 1^{er} seuil). Un seuil toximétrique à 500 ppm (correspondant à l’ancienne valeur IDLH) est parfois aussi retenu en salle des machines.

Note : les seuils indiqués ne sont pas tous des exigences réglementaires ou normatives.

- L’article 42 de l’arrêté du 16 juillet 1997 impose que « le deuxième seuil est au plus égal au double de la valeur choisie pour le 1er seuil. » Il précise : « Les zones de sécurité sont équipées de systèmes de détection dont les niveaux de sensibilité sont adaptés aux situations. Ces détecteurs doivent être de type toximétrie dans les endroits où les employés travaillent en permanence ou susceptibles d’être exposés, et de type explosimétrie dans les autres cas où peuvent être présentes des atmosphères confinées. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 (§ 8.7) fixe les exigences sur les seuils en salle des machines : ils doivent « fonctionner à une concentration ne dépassant pas :
 - 350 mg/m³ (500 ppm (V/V)) dans les salles des machines (niveau bas d’alarme) ;
 - 21 200 mg/m³ (30 000 ppm (V/V)) (niveau haut d’alarme). »

❖ Technologie des détecteurs

En salle des machines et sur la plateforme de condensation (absence de personnel), les détecteurs sont du type électrochimique dans la mesure où les seuils de détection retenus sont usuellement de l’ordre de 1000 ppm.

Si des utilisations en explosimétrie sont visées, les détecteurs seront de type catalytique

Parfois, un 3^{ème} seuil plus bas (toximétrie) est possible sur les détecteurs. En cas d’intervention en salle des machines, le personnel pourra s’équiper d’un détecteur portable.

Dans les locaux où du personnel peut être présent, les détecteurs sont du type électrochimiques et sont réglés pour des utilisations en toximétrie.

❖ Nombre et position des détecteurs

Le positionnement des détecteurs reste difficile à recommander de manière générale. Des exigences existent pour le positionnement au dessus des équipements sujets à fuite (compresseurs, pompes...). Les règles de bonnes pratiques conduisent usuellement à mettre plusieurs détecteurs dans la salle des machines (au minimum deux) situés en partie basse et haute. Un ordre de grandeur peut être d’un détecteur pour 100 m² au sol. On pourra installer des détecteurs toximétriques en partie basse (position des intervenants) et des explosimétriques en partie haute. Souvent un détecteur est placé au niveau de la gaine d’extraction.

- L’article 42 de l’arrêté du 16 juillet 1997 note « L’implantation des détecteurs résulte d’une étude préalable. ».
- La partie 3 de la norme NF EN 378 (§ 8.7) fixe des exigences sur le nombre et la position des détecteurs : « Lorsque la salle des machines spéciale ne comprend que des compresseurs ou

des unités de compresseurs, au moins un détecteur doit être placé sur les compresseurs ou les unités. Le site des pompes de réfrigération, dans une salle des machines ou dans d'autres zones, doit également être surveillé par un détecteur monté à l'avant et à proximité des pompes. »

Note : pour les installations situées à l'extérieur, le maillage de la détection ammoniac devra permettre de couvrir les différentes directions de fuite.

❖ Suivi des détecteurs

Conformément aux réglementations en vigueur (exigences de testabilité et de maintenabilité), les détecteurs gaz doivent faire l'objet d'un suivi et de tests réguliers. Les détecteurs électrochimiques sont testés usuellement tous les 6 mois. Les têtes doivent être changées assez souvent, en fonction des résultats des tests ; en ordre de grandeur, le changement s'effectue tous les 18 à 24 mois.

- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 spécifie « L'exploitant doit dresser la liste de ces détecteurs avec leur fonctionnalité et doit déterminer les opérations d'entretien destinées à maintenir leur efficacité dans le temps. »
- Il est spécifié dans la norme (§ 8.7) que « les détecteurs doivent être adaptés à leur utilisation et étalonnés par un organisme compétent. ».

❖ Exigences en cas de déclenchement

En cas de déclenchement d'un détecteur gaz, des contrôles doivent être effectués et tracés. La remise en service de l'installation ne peut pas être faite automatiquement.

- L'article 42 de la l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Tout incident ayant entraîné le dépassement du seuil d'alarme gaz toxique donne lieu à un compte rendu écrit tenu à la disposition de l'inspecteur des installations classées durant un an. [...] La remise en service d'une installation arrêtée à la suite du déclenchement d'une alarme ne peut être décidée que par une personne déléguée à cet effet, après examen détaillé des installations et analyse de la défaillance ayant provoqué l'alarme. »

4.1.2 Détection de fuite : détection humaine et action humaine

4.1.2.1 Dispositifs d'isolement

❖ Vannes d'isolement sur les capacités

Des vannes d'isolement doivent isoler les capacités les unes des autres et les portions de tuyauterie contenant de l'ammoniac liquide.

Ces vannes doivent être situées au plus près des capacités. Ces dispositifs d'isolement peuvent être manuels ou automatiques. La réglementation et/ou les normes n'imposent pas de systèmes automatiques. En pratique, les isolements sont installés en aval des pompes BP sur le circuit entre ballon séparateur et évaporateur

- L'article 50 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Plusieurs capacités réunies par des tuyauteries doivent pouvoir être isolées les unes des autres au moyen de vannes manuelles facilement accessibles en toute circonstance ou par des vannes automatiques pilotées par un ou plusieurs paramètres de l'installation ou actionnées par des coups de poing judicieusement placés. »

- L'article 51 précise : « Toute portion d'installation contenant de l'ammoniac liquide sous pression susceptible d'entraîner des conséquences notables pour l'environnement doit pouvoir être isolée par une ou des vannes de sectionnement manuelles située(s) au plus près de la paroi du réservoir. Ce dispositif devra être, si nécessaire, complété par une vanne de sectionnement automatique à sécurité positive qui devra notamment se fermer en cas d'arrêt d'urgence ou de détection d'ammoniac. »
- La partie 2 de la norme NF EN 378 précise (§ 6.2.4) : « Les systèmes de réfrigération doivent être équipés d'un nombre suffisant de robinets d'isolement pour minimiser le danger, notamment durant la réparation et/ou la maintenance [...] Les robinets à commande manuelle requis lors de l'utilisation essentielle de fonctionnement doivent être munis d'un volant ou d'une manette. ».
- La norme précise dans l'annexe A (exigences spécifiques à l'ammoniac) que pour des installations de plus de 3000 kg, « un dispositif de fermeture commandé à distance doit exister dans la conduite liquide. Ce dispositif doit se fermer en cas de défaillance de la puissance de commande, détection d'une fuite ou arrêt d'urgence. Il doit être contrôlable manuellement ou, si nécessaire, intégré à un système d'arrêt d'urgence. »

En pratique, la conduite liquide concernée est la tuyauterie liquide vers les utilisateurs.

Note : l'étude de dangers ne tiendra pas compte de vannes manuelles comme dispositif d'isolement en cas de fuite massive. En effet, en cas de fuite massive, l'accès à la salle des machines devient difficile (visibilité réduite réduisant l'efficacité d'une intervention humaine, nécessite de s'équiper tendant à augmenter le temps de réponse...).

4.1.3 Arrêt des installations

❖ Arrêt automatique des installations

L'arrêt des installations s'effectue par coupure de la puissance sur l'alimentation des équipements (compresseurs et pompes). Le circuit comporte deux parties : le circuit commande (relayage) et le circuit puissance (contacteur).

En cas de fuite d'ammoniac sur le circuit dans la salle des machines, l'arrêt des fuites est lié à l'arrêt des pompes et des compresseurs. La coupure des alimentations électriques exigée en cas de détection gaz dans la salle des machines (au 2^{ème} seuil) conduit à l'arrêt des pompes et compresseurs.

- L'article 47 de l'arrêté du 16 juillet 1997 demande « L'arrêt du compresseur doit pouvoir être commandé par des dispositifs appropriés judicieusement répartis, dont l'un au moins est placé à l'extérieur de l'atelier de compression. »
- L'article 39 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « des dispositions sont prises pour permettre, en toute circonstance, un arrêt d'urgence et la mise en sécurité électrique des installations »

En cas de fuite détectée au niveau des utilisateurs, la détection gaz conduit à l'arrêt des pompes de circulation en salle des machines. L'arrêt des compresseurs signifie (avec un certain délai) une montée en pression dans le ballon séparateur, ce qui conduira à une augmentation des effets en cas de fuite sur la partie BP.

En cas de fuite sur la partie BP au niveau des utilisateurs et/ou des tuyauteries de liaison entre la salle des machines et les utilisateurs, la coupure des compresseurs ne sera donc pas commandée.

4.1.4 Intervention humaine en cas d'urgence

4.1.4.1 Alarmes associées au(x) détecteur(s)

❖ Exigences d'indépendance et d'efficacité de l'alarme

La réglementation ne donne pas d'exigences à ce sujet. La norme (non obligatoire) précise que la détection d'ammoniac déclenche une alarme qui doit répondre aux exigences d'efficacité et d'indépendance avec le système de ventilation.

- La norme NF EN 378 précise au §7.1 qu' « une alarme doit être déclenchée par le détecteur. L'alarme doit également alerter une personne autorisée pour qu'elle puisse prendre les mesures nécessaires. »
- Elle ajoute au §8.3 que « Le système d'alarme doit générer un avertisseur à la fois audible et visible, comme par exemple une forte sonnerie (15 dBA au-dessus du niveau sonore ambiant) et une lumière clignotante. Le système d'alarme doit générer un avertisseur audible de l'intérieur et de l'extérieur de la salle des machines ou au moins à l'intérieur de l'espace utilisé comme un espace occupé. Pour les hôtels et établissements similaires, le système d'alarme doit également avertir à un endroit surveillé, tel que le poste du gardien de nuit, ainsi que dans l'espace occupé. L'alarme extérieure peut être installée dans une salle de surveillance ou autre endroit surveillé. »
- Enfin, elle précise « Lorsqu'un système d'alarme est installé, sa source d'alimentation doit être indépendante de la source d'alimentation du système de ventilation mécanique ». La norme note qu' « un circuit électrique de secours utilisant des batteries peut être utilisé pour le système d'alarme ».

❖ Surveillance permanente des installations

Une surveillance permanente (locale ou à distance) permet de prévenir une personne compétente pour intervention en cas d'alarme. Pour les installations de plus de 3 tonnes d'ammoniac, l'alarme doit être renvoyée dans une centrale de surveillance, compatible avec une intervention en moins de 60 minutes.

- L'article 23 de l'arrêté du 16 juillet 1997 indique que « un gardiennage est assuré en permanence ou un système de transmission d'alarme à distance est mis en place de manière qu'un responsable techniquement compétent puisse être alerté et intervenir rapidement sur les lieux en toute circonstance. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande le contrôle de « l'efficacité du report d'alarme et le contrôle du temps de réaction. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise (§ 7.4) : « L'utilisateur / le propriétaire du système de réfrigération doit s'assurer qu'un poste permanent de surveillance est prévu comme poste d'alerte central. Du personnel spécialisé doit être présent sur site dans un délai de 60 min après le début de l'alarme. Le personnel peut également être informé de l'alarme par des équipements techniques, par exemple téléphone mobile, récepteur d'appel. »

❖ Consignes d'intervention en cas d'accident

Des consignes écrites relatives aux moyens d'urgence en cas d'accident (fuite toxique, épandage de matières dangereuses...) sont rédigées, tenues à jour et affichées. Un affichage des risques et des consignes à observer doit être présent à l'extérieur des zones et à l'intérieur.

L'intervention repose sur des consignes écrites (cf. chapitre 3).

- L'article 31 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Des dispositions appropriées seront prises pour qu'il ne puisse y avoir, en cas d'accident se produisant dans l'enceinte de l'établissement, déversement de matières qui, par leurs caractéristiques et quantités émises, seraient susceptibles d'entraîner des conséquences notables sur le milieu naturel récepteur. Une liste des dispositions concernées même occasionnellement, sera établie par l'exploitant, communiquée à l'inspecteur des installations classées et régulièrement tenue à jour. »

- La circulaire du 10 décembre 2003 demande de vérifier « l'existence et la nature des dispositions prises en cas de déversement accidentel ».
- L'article 40 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Des consignes écrites sont établies pour la mise en œuvre des moyens d'intervention, d'évacuation du personnel et d'appel aux moyens de secours extérieurs. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande de vérifier « l'existence d'un plan de sécurité interne à l'entreprise et l'affichage des consignes de sécurité ».
- L'article 41 ajoute : « La nature exacte du risque (atmosphère potentiellement explosible, etc.) et les consignes à observer sont indiquées à l'entrée de ces zones et en tant que de besoin rappelées à l'intérieur de celles-ci. Ces consignes doivent être incluses dans le plan d'urgence s'il existe (notamment au niveau des moyens d'alerte du plan d'opération interne s'il existe). »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande de vérifier l'existence d'un plan de zones de sécurité et de comparer ce plan avec celui du site ; « la pertinence des consignes de sécurité pour chacune des zones est à contrôler par l'exploitant ».
- L'article 52 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Les opérations pouvant présenter des risques (manipulation, etc.) doivent faire l'objet de consignes écrites tenues à jour et affichées dans les lieux fréquentés par le personnel. Ces consignes doivent notamment indiquer :
 - les mesures à prendre en cas de fuite sur un récipient ou sur une canalisation contenant de l'ammoniac ;
 - les moyens d'extinction à utiliser en cas d'incendie ;
 - le plan d'opération interne s'il existe ;
 - la procédure d'alerte, avec les numéros de téléphone du responsable d'intervention de l'établissement, des services incendie et de secours, du centre antipoison etc ;
 - les procédures d'arrêt d'urgence ;
 - [...] ;
 - l'étiquetage (pictogramme et phrases de risque) des produits dangereux stockés sera indiqué de façon très lisible à proximité des aires permanentes de stockage d'ammoniac.
 - Ces consignes doivent rappeler de manière brève, mais explicite, la nature des produits concernant les risques spécifiques associés (incendie, toxicité, pollution des eaux, etc.). »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que les consignes de sécurité doivent être mises à jour et qu'il est nécessaire de s'assurer qu'elles sont bien affichées et connues par le personnel.

4.1.4.2 Commande sur des BAU générant des actions de sécurité

❖ Arrêt manuel des installations : boutons d'arrêt d'urgence

Des boutons d'urgence équipent l'installation, notamment au niveau de la salle des machines (intérieur et extérieur). Ils doivent permettre d'arrêter le système de réfrigération.

Une commande d'urgence doit aussi commander la ventilation d'urgence.

- La partie 3 de la norme NF EN 378 indique (§5.1) que dans la salle des machines, doit être prévu « un interrupteur à distance pour arrêter le système de réfrigération doit être installé à l'extérieur et à proximité de la porte de la salle des machines. [...] La ventilation mécanique doit être fournie avec commande d'urgence indépendante située à l'extérieur et à proximité de la porte de la salle des machines. »
- Au §5.8 est précisé : « Un interrupteur [d'urgence] à distance pour arrêter le système de réfrigération doit être installé à l'extérieur et à proximité de la porte de la salle des machines. Un interrupteur similaire doit être installé à un endroit approprié dans la salle. »

4.1.4.3 Intervention humaine dans la SDM

❖ Intervention humaine : équipements à disposition

L'intervention suppose la mise à disposition par l'exploitant d'équipements de protection.

- L'article 53 rappelle que des équipements doivent être tenus à disposition du personnel pour permettre les interventions : « En dehors des moyens appropriés de lutte contre l'incendie, l'exploitant doit mettre à la disposition du personnel travaillant dans l'installation frigorifique :
 - des appareils de protection respiratoire en nombre suffisant (au minimum deux) adaptés aux risques présentés par l'ammoniac ;
 - des gants, en nombre suffisant, qui ne devront pas être détériorés par le froid, appropriés au risque et au milieu ambiant ;
 - des vêtements et masques de protection adaptés aux risques présentés par l'ammoniac doivent être conservés à proximité des dépôts et ateliers d'utilisation ;
 - des brancards pour évacuer d'éventuels blessés ou intoxiqués.
- L'ensemble de ces équipements de protection doit être suffisamment éloigné des réservoirs, accessible en toute circonstance et situé à proximité des postes de travail. Ces matériels doivent être entretenus en bon état, vérifiés périodiquement et rangés à proximité d'un point d'eau et à l'abri des intempéries. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande le « contrôle des équipements de protection individuels et collectifs (bouteilles d'air...), l'existence de l'équipement de protection incendie et surtout de protection contre l'ammoniac (gants, masques...) et le contrôle périodique des équipements de protection individuels et collectifs. »

Note : l'alarme à 500 ppm indique une concentration importante. L'intervention nécessite alors nécessairement le port des EPI (masque et vêtements spécifiques).

4.1.4.4 Protection des personnes

Pour permettre une protection des personnes en cas de fuite, la direction du vent doit être donnée par un dispositif approprié qui doit être visible de jour comme de nuit.

- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Des dispositifs complémentaires, visibles de jour comme de nuit, doivent indiquer la direction du vent. »

4.1.4.5 Ventilation de la salle des machines

❖ Ventilation mécanique requise

L'arrêté du 16 juillet 1997 et la norme NF EN 378 imposent un **dispositif mécanique de ventilation** en cas de fuite. En marche normale, la ventilation mécanique n'est pas obligatoire.

- L'article 3 de l'arrêté précise : « La ventilation des salles des machines est assurée par un dispositif mécanique calculé selon les normes en vigueur, de façon à éviter à l'intérieur des locaux toute stagnation de poches de gaz. »
- La partie 3 de la norme, § 5.1 précise : « Une ventilation mécanique doit être fournie. » Le § 5.16.1 ajoute : « Un système de ventilation mécanique doit être utilisé en cas de fuite de fluide frigorigène due à des fuites ou une rupture de composants. Ce système doit être indépendant de toute ventilation du site »

Note : la **ventilation des passages de tuyauteries (hors salle des machines)** est également exigée dans la partie 3 de la norme NF EN 378 (§5.15.3) : « les gaines ou passages contenant des tuyauteries de frigorigène doivent être ventilées dans un endroit sûr pour empêcher l'accumulation de vapeurs. »

❖ Débit de la ventilation normale

Le **débit d'air en ventilation normale** (en conditions de fonctionnement normales) est spécifié dans la partie 3 de la norme NF EN 378 (§5.16.2) : « *La ventilation doit être conforme aux réglementations nationales. Il doit y avoir au minimum 4 renouvellements d'air par heure lorsque la salle des machines est occupée.* »

Mais la salle des machines n'est pas occupée de manière permanente ; elle n'est pas considérée comme « occupée ». Cette prescription de débit n'est donc pas applicable.

La ventilation normale peut être actionnée pour assurer l'évacuation des déperditions thermiques des équipements et éviter une potentielle dégradation des matériels électroniques par la chaleur, en saison estivale notamment. En ordre de grandeur, le débit d'une ventilation normale est de 2000 m³/h.

❖ Débit de la ventilation d'urgence

Un **débit d'air (mini – maxi) en ventilation d'urgence** est spécifié dans la partie 3 de la norme NF EN 378.

- Un débit minimum est requis (§5.16.4) : « Le débit d'air de la ventilation mécanique doit correspondre au minimum à la quantité obtenue par l'équation suivante : $V = 14 \times 10^{-3} \times m^{2/3}$, où V est le débit d'air en m³/s ; m est la masse de la charge de fluide frigorigène, en kg, dans le système de réfrigération ayant la charge maximale, dont une partie quelconque est située dans la salle des machines. »
- Un débit maximum est également requis dans partie 3 de la norme NF EN 378 (§5.16.4) : « Le système de ventilation d'urgence ne doit pas être contraint de fournir plus de 15 renouvellements d'air par heure. » Concernant le dimensionnement, le paragraphe §5.17.1.2 précise que « Le ventilateur doit être placé de manière à éviter la pressurisation des gaines d'aspiration dans la salle des machines. »

❖ Dimensionnement des entrées d'air

La ventilation mécanique nécessite des entrées d'air sur le bâtiment communiquant directement avec l'extérieur. **Aucune spécification précise relative à la dimension des ouvertures** n'existe à ce jour dans les documents de référence.

La partie 3 de la norme NF EN 378 précise simplement (§ 5.16.5) que « les ouvertures du système de ventilation mécanique doivent être placées et avoir des dimensions permettant d'obtenir un débit d'air suffisant. » La position des entrées d'air doit également permettre une bonne ventilation de la salle (§ 5.16.1) : « Des dispositions doivent être prises pour une alimentation suffisante en air de remplacement extérieur et un bon système de distribution de cet air dans la salle des machines (spéciale), en évitant les angles morts. »

En pratique, la surface des entrées d'air (dimensionnée pour la ventilation forcée) doit permettre de limiter la vitesse au niveau des grilles d'entrée à 3 m/s.

Mais des grilles doivent aussi permettre d'assurer l'entrée d'air en cas d'incendie et d'activation des évacuations de fumées. Cela revient souvent à doubler la surface de ventilation requise.

Note : Une version antérieure de la norme NF EN 378 proposait une surface libre minimale : « la salle des machines doit avoir une ventilation naturelle assurée par des fenêtres, grilles.... La surface libre est liée à la masse de fluide frigorigène. $A = 0,14 \cdot m^{1/2}$ où m est la masse en kg et A la surface en m^2 ». Cette exigence était relative à la ventilation naturelle mais pas à la ventilation forcée.

Des entrées d'air sont requises pour assurer la ventilation des locaux. Il est retenu comme bonnes pratiques (mais ce n'est pas une exigence réglementaire) de disposer de vantelles sur les entrées d'air qui se referment mécaniquement en cas de surpression dans le local. Ces vantelles permettent d'éviter un refroidissement de la salle des machines en hiver ; en cas de fuite, les vantelles peuvent se refermer ce qui tend à réduire la quantité d'ammoniac pouvant être rejetée au niveau du sol.

Cette recommandation permet d'éviter la fuite d'ammoniac par les entrées d'air en cas de fuite massive dans le local. Cette hypothèse permet de ne pas retenir les fuites d'ammoniac par les entrées d'air avant la mise en route de la ventilation d'urgence.

Pour disposer d'une ventilation permettant d'éviter les angles morts, il est retenu comme bonnes pratiques de disposer de grilles de ventilation en point bas. L'extraction s'effectue en partie haute de la salle des machines.

❖ Exigences d'étanchéité sur les portes et passages

Pour éviter les fuites à l'extérieur du local, des **exigences d'étanchéité** sont imposées dans la partie 3 de la norme.

Elles concernent notamment les portes (§5.15.1) : « Les portes doivent être hermétiques [...], se refermer automatiquement. Il ne doit pas y avoir d'ouvertures permettant le passage involontaire de fluides frigorigènes [...] s'échappant vers les autres parties du bâtiment. »

De même (§5.10) : « toutes les tuyauteries et conduites de ventilation traversant les murs, plafonds et planchers des salles des machines doivent être scellées lorsqu'elles traversent les murs, plafonds ou planchers. »

En pratique, l'exigence d'étanchéité est liée à une préoccupation de caractère coupe-feu et pas à une étanchéité vis-à-vis d'un risque toxique. Les portes coupe-feu, le scellement des traversées des murs, planchers, plafonds et des conduites traversant les cloisons répondent aux exigences d'étanchéité.

Note : Ces deux exigences sur les portes et les passages de tuyauteries et gaines répondent également à un souci de non propagation des incendies (cf. § 3.14 de cette annexe).

❖ Evacuation de l'extraction forcée

L'évacuation de l'extraction forcée est faite dans une zone « sûre » pour limiter les effets sur l'environnement. La localisation des rejets doit permettre d'éviter de réintroduire de l'ammoniac dans les locaux (bâtiments ou salle des machines).

- L'article 3 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « Le débouché à l'atmosphère de la ventilation doit être placé aussi loin que possible des habitations voisines et d'une source de chaleur, de façon à ne pas entraîner de risque pour l'environnement et pour la santé humaine » ;
- La partie 3 de la norme NF EN 378 (§ 5.17.1.2) : « La gaine de sortie de ventilation par refoulement doit être conforme aux réglementations nationales. La gaine de sortie ne doit pas être limitée et doit être munie de dispositifs permettant de bloquer l'entrée de débris, de feuilles et d'oiseaux. La partie basse de toute conduite montante et ouverte à l'extérieur doit être munie d'un tuyau d'écoulement des eaux de pluie et d'un accès pour le contrôle. » On veillera à ce que ces recommandations soient assurées sur les sites.

Note : il n'existe pas de prescriptions relatives au diamètre ou à la hauteur de rejet. Ces informations dépendent de chaque site et sont un paramètre d'entrée important pour l'évaluation des intensités des effets. En pratique, la vitesse des gaz dans la conduite d'extraction ne dépasse généralement pas 10 m/s.

❖ Commandes de l'extraction forcée

La ventilation d'urgence est commandée de deux manières : par des commandes d'urgence et par la détection gaz située dans la salle des machines :

- La partie 3 de la norme précise (§5.16.3) : « *Le système de ventilation mécanique d'urgence doit alors être activé par un (des) détecteur(s), situé(s) dans la salle des machines. [...] La ventilation mécanique doit également être munie de deux commandes d'urgence indépendantes, l'une située à l'extérieur de la salle des machines et l'autre à l'intérieur.* ». Il est également spécifié (§5.1) : « La ventilation mécanique doit être fournie avec commande d'urgence indépendante située à l'extérieur et à proximité de la porte de la salle des machines. »
- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que la ventilation additionnelle est mise en service au 1^{er} seuil de la détection. Mais l'arrêté n'impose pas de commandes indépendantes complémentaires.

❖ Alimentation électrique

L'extracteur doit être alimenté par une alimentation secourue.

Le terme d'alimentation secourue signifie que l'extracteur doit être maintenu en service en cas de mise en sécurité. Des groupes électrogènes ne sont pas requis ; parfois sur de grosses installations, des groupes électrogènes peuvent assurer un secours mais cette solution reste rare.

Ainsi lors de l'atteinte du 2^{ème} seuil de détection ammoniac qui conduit à la coupure électrique des installations dans la salle des machines (pour éviter l'explosion), l'extracteur (comme le détecteur et l'éclairage de secours) doit être alimenté par une source indépendante des autres utilisateurs.

5. MESURES DE PROTECTION / LIMITATION VIS-A-VIS DE L'EXPLOSION

Les mesures explicitées dans ce chapitre visent à prévenir l'inflammation en cas de nuage d'ammoniac en zone confinée.

❖ Conception et contrôle des installations électriques

De manière générale, les installations électriques des installations de réfrigération à l'ammoniac doivent être réalisées en tenant compte du risque d'explosion ou d'inflammation. Elles doivent répondre aux normes en vigueur et faire l'objet de contrôles réguliers par des personnes compétentes.

L'article 46 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que les installations doivent être « efficacement protégées contre les risques liés aux effets de l'électricité statique, les courants de circulation et la foudre. Les installations électriques ainsi que les mises à la terre des appareils doivent être réalisées par des personnes compétentes, avec du matériel normalisé et conformément aux normes applicables. [...] Toutes les installations électriques doivent être entretenues en bon état et doivent être contrôlées après leur installation ou modification. Un contrôle doit être effectué par un organisme agréé tous les trois ans au moins. Cet organisme doit très explicitement mentionner les défauts relevés dans son rapport de contrôle. Ces rapports sont tenus à la disposition de l'inspecteur des installations classées. »

❖ Définition des zones ATEX

Des zones à risques ATEX doivent être définies par l'exploitant avec des installations adaptées au risque.

Il est important de noter que les mesures prises sur la salle des machines (détection, ventilation, arrêt des alimentations électriques...) **permettent de ne pas classer la salle des machines en zone à risque ATEX.**

- L'article 46 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « dans les zones définies sous la responsabilité de l'exploitant où peuvent apparaître des atmosphères explosives de façon accidentelle, les installations électriques doivent être réduites à ce qui est strictement nécessaire aux besoins de l'exploitation. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise : « Il n'est pas nécessaire que l'équipement électrique des salles logeant un système de réfrigération contenant uniquement du R-717 soit conforme aux exigences relatives aux zones dangereuses. »

❖ Arrêt des installations électriques

En cas de fuite d'ammoniac dans un local, il faut éviter la formation d'une ATEX et sa possible inflammation. Pour cela, il est prévu d'éviter la persistance d'une atmosphère explosible en mettant en œuvre la ventilation d'urgence sur détection gaz. Si la ventilation d'urgence ne suffit pas à réduire la concentration en ammoniac, **l'arrêt de toutes les alimentations électriques est requis**, sauf celles alimentant les sécurités assurant la persistance de l'ATEX (ventilations, détections gaz). Les autres sécurités potentielles (isolement éventuel, sécurités de niveau sur les capacités, sécurités de pression haute sur les compresseurs...) doivent être de conception à sécurité positive et mettre ainsi le système en position de sécurité.

- La partie 3 de la norme (§ 6.2) exige l'indépendance des alimentations de sécurité des autres alimentations : « L'alimentation en puissance électrique d'un système de réfrigération doit être disposée de façon à pouvoir être coupée indépendamment de l'alimentation électrique des autres équipements électriques en général et, en particulier, à tout système d'éclairage, d'unités de ventilation, d'alarme et autres équipements de sécurité. »

❖ Exigences ATEX sur l'extracteur d'urgence

Dans la salle des machines, une ventilation d'urgence est requise. Le moteur doit être placé en dehors du flux (ne nécessitant ainsi pas de conception ATEX) ou être de conception ATEX. Le ventilateur doit éviter également la formation d'étincelles.

La commande devra être indépendante des autres commandes électriques dont l'alimentation électrique sera coupée en cas de fuite.

- L'article 46 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « l'éclairage de secours et les moteurs de la ventilation additionnelle restant sous tension doivent être conçus conformément à la réglementation en vigueur. » L'article 3 précise que « Les moteurs des extracteurs doivent être protégés pour éviter tout risque d'explosion ».
- La partie 3 de la norme (§5.17.1.2) explicite que « le ventilateur d'urgence par refoulement doit être a) muni de moteur en dehors du débit d'air, ou b) assigné à des zones dangereuses. [...] Le ventilateur ne doit pas provoquer d'étincelles s'il entre en contact avec le matériau des conduites.»

❖ Prévention des inflammations

Des mesures sont prises pour prévenir les sources d'inflammation (permis de feu, interdiction de fumer...).

- L'article 44 de l'arrêté du 16 juillet 1997 rappelle que « Dans les installations où il existe un risque d'incendie ou d'explosion, il est interdit de fumer ou d'apporter du feu sous une forme quelconque ou encore d'utiliser des matériels susceptibles de générer des points chauds, sauf pour la réalisation de travaux ayant fait l'objet d'un permis de feu délivré et dûment signé par l'exploitant ou par la personne qu'il aura nommément désignée. »

6. MESURES DE PROTECTION / LIMITATION VIS-A-VIS DE LA POLLUTION

❖ Rétention générale dans la salle des machines

Pour prévenir les épandages accidentels dans le milieu, la salle des machines doit être conçue pour faire office de rétention. La rétention est correctement dimensionnée (capacités, résistance à la substance...).

Une pratique usuelle consiste à surélever le seuil de la salle des machines pour que le sol fasse office de rétention. Il n'y a généralement pas d'office d'obturation en tant que tel.

Les matières incompatibles ne doivent pas être stockées dans la même rétention.

- L'article 32 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « Toute utilisation d'ammoniac susceptible de créer une pollution de l'eau ou du sol, notamment à l'ensemble de la salle des machines, doit être associée à une capacité de rétention dont le volume doit être au moins égal à la plus grande des deux valeurs suivantes :
 - 100% de la capacité du plus grand réservoir;
 - 50% de la capacité globale des réservoirs associés.
- La capacité de rétention doit être étanche aux produits qu'elle pourrait contenir et résister à l'action physique et chimique de l'ammoniac. Il en est de même pour le dispositif d'obturation, qui doit être maintenu fermé en conditions normales. [...] Les produits récupérés en cas d'accident ne peuvent être rejetés que dans des conditions conformes au présent arrêté ou doivent être éliminés comme les déchets. Des réservoirs ou récipients contenant des produits susceptibles de réagir dangereusement ensemble ne doivent pas être associés à la même cuvette de rétention. »

- La circulaire du 10 décembre 2003 demande à contrôler « l'existence des cuvettes de rétention, ainsi que l'existence et le contenu d'une procédure de traitement des eaux ammoniacuées, le volume et de l'étanchéité des cuvettes, l'étanchéité de l'aire de chargement et de déchargement. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 (§ 5.17.2.1) précise : « Pour empêcher le R-717 d'atteindre les eaux de surface, un système de captation doit être conçu et installé conformément aux réglementations nationales. Le plancher de la salle des machines doit être conçu de manière à empêcher le R-717 liquide de s'échapper de la salle. Le tuyau d'écoulement du système de captation doit être normalement fermé. »

❖ **Rétention sur aires de transferts**

L'article 32 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Les aires de chargement et de déchargement de véhicules citernes doivent être étanches et reliées à des rétentions dimensionnées selon les mêmes règles. »

❖ **Bassin de confinement**

Les installations de plus de 20 tonnes doivent être équipées d'un bassin de confinement. Ces capacités étant peu usuelles dans les installations de réfrigération à l'ammoniac, les prescriptions de l'arrêté du 16 juillet 1997 relatives aux bassins de confinement (articles 33) ne sont pas détaillées dans ce guide.

❖ **Dissociation eaux procédés et eaux pluviales**

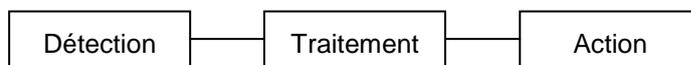
En plus des mesures évoquées ci-dessus (rétention, consignes d'intervention, points de captage des purges...), les eaux utilisées dans le procédé doivent être dissociées des eaux pluviales ; un contrôle de leur qualité doit être effectué avant leur rejet. Les tuyauteries contenant de l'ammoniac ne sont pas installées dans des conduits en liaison avec les égouts.

- L'article 34 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « le rejet direct d'eaux de refroidissement ou de chauffage ainsi que des eaux de dégivrage provenant des circuits alimentant des échangeurs et appareillages dans lesquels circulent l'ammoniac ne peut être effectué qu'après avoir vérifié que ces eaux ne soient pas polluées accidentellement. »
- L'article 35 ajoute : « Le réseau de collecte doit être de type séparatif, permettant d'isoler les eaux résiduaires polluées des eaux pluviales non susceptibles être polluées. Les points de rejet des eaux résiduaires doivent être en nombre aussi réduit que possible et aménagés pour permettre un prélèvement aisé d'échantillon et l'installation d'un dispositif de mesure du débit. En aucun cas, les tuyauteries contenant l'ammoniac ne sont situées dans les égouts ou dans les conduits en liaison directe avec les égouts. »
- L'article 37 précise : « Les effluents aqueux récupérés susceptibles d'être pollués (pompages, lavage d'installation, etc.) doivent être stockés dans des capacités avant leur valorisation ou leur élimination, dans des conditions ne présentant pas de risque de pollution. »

- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que doivent être vérifiés :
 - « Qu'un contrôle de la qualité des eaux est effectué et formalisé ;
 - Les dispositions prises en cas de fuite, de rejet des eaux de refroidissement, de dégivrage ;
 - Les moyens de contrôle du pH ;
 - L'existence et la mise en œuvre d'un programme de contrôle de rejets. »
- La vérification s'appuiera sur les « documents de contrôle de la qualité des eaux (modalités et mesures), les procédures de traitement des eaux ammoniaquées, le programme de contrôle des rejets. »
- L'article 55 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Toutes dispositions doivent être prises pour qu'une fuite d'ammoniac lors des opérations de chargement et de vidange de l'installation soit rapidement maîtrisée et que son extension soit la plus réduite possible. »

ANNEXE 7
Evaluation d'éléments des mesures de maîtrise des
risques :
Tableau de synthèse des évaluations

Cette annexe présente les tableaux de synthèse d'évaluation d'éléments de mesures de maîtrise des risques. Les MMR seront évaluées dans l'étude de dangers en considérant les performances des différents éléments. Ainsi une MMR pourra comprendre trois parties : détection, traitement, action. Chaque élément doit être évalué pour déterminer les performances de la mesure de maîtrise des risques.



Les tableaux d'évaluation des différents éléments s'appuient sur les exigences précisées dans l'annexe précédente.

Il est rappelé qu'une mesure de maîtrise est une notion réglementaire définie comme un ensemble d'éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité. La notion d'EIPS a été remplacée par la notion de mesure de maîtrise des risques.

Dans les tableaux suivants, le NC (Niveau de Confiance) est lié à la PFD (Probabilité de Défaillance) de l'élément étudié selon la règle suivante : $PFD = 10^{-NC}$. Les principes de l'évaluation des performances des MMR sont explicités dans les rapports INERIS Oméga 10 et Oméga 20 pour respectivement les barrières techniques de sécurité et les barrières humaines de sécurité.

Parfois le terme SIL (Safety Integrity Level) est utilisé. Il traduit également la fiabilité de la MMR. Mais il est déterminé dans le cadre d'un processus de certification.

Pressostat - usuellement considéré comme un EIPS
<ul style="list-style-type: none">• Indépendance de la conduite ;• Concept éprouvé en sécurité ;• Dimensionnement : pression de déclenchement inférieure à celle de la soupape (elle-même inférieure ou égale à pression maxi calcul équipements) ;• Temps de réponse : compatible avec la cinétique ;• Conception simple (sans microprocesseur) ; relayage arrêtant le compresseur (coffret du compresseur)• Sécurité positive et réarmement manuel ;• Test / Maintenance : effectué régulièrement (semestriellement selon guide AFF [2])
Pressostat : NC1

Soupapes (gaz) - usuellement considérées comme des EIPS.

- Indépendance de la conduite ;
- Concept éprouvé en sécurité ;
- Dimensionnement :
 - installation sur phase gaz ;
 - pression d'ouverture inférieure à la pression maximale admissible des équipements protégés (conception selon norme associée) ;
 - débit selon norme vis-à-vis de l'incendie ;
 - conduit de rejet ne générant pas de contrepression (pas de vanne, de débris, de gel...) ; possibilité d'ouvertures simultanées des soupapes en cas d'incendie ;
 - pas de vanne à l'aval de la soupape ; en cas de vanne trois voies, vérifier si une des soupapes n'est pas hors service ;
- Temps de réponse : compatible avec la cinétique ;
- Dispositif technique simple ;
- Pas de concept de sécurité positive sur les soupapes ;
- Redondance : normalement oui sur les capacités mais à vérifier selon les débits ;
- Test / Maintenance : effectué régulièrement selon réglementation des appareils à pression (vérification semestriellement selon guide AFF [2])

Ensemble de deux soupapes redondantes : NC2 (par défaut⁵)

Soupape non redondante : NC1 (par défaut)

Pour plus d'informations sur les soupapes, le lecteur pourra se reporter à la fiche Badoris : soupapes : BADORIS - Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.) - Soupape de sécurité - Version 2.1 – novembre 2007. Lien : http://www.ineris.fr/badoris/Pdf/GIL/GIL_soupape_securite_V2_1.pdf

⁵ Le NC de deux soupapes redondantes dépend notamment de la solution de montage et de l'efficacité de chaque soupape (débit, tarage). On s'assurera qu'un NC2 peu être retenu.

Détecteur gaz - Considéré usuellement comme un EIPS

- Indépendance de la conduite ;
- Concept éprouvé en sécurité ;
- Dimensionnement et contraintes spécifiques :
 - Positionnement : prévoir une étude de positionnement mais a minima un détecteur au dessus des équipements plus sujets à fuites (pompes et compresseurs) ; en partie basse pour les points de purge ; en partie haute au niveau des compresseurs ou un détecteur en amont de la gaine d'extraction ;
 - Technologie : en salle des machines, en combles ou en terrasse, détecteurs électrochimiques avec des seuils élevés ; dans les locaux avec du personnel, détecteurs électrochimiques avec des seuils plus bas ;
 - Seuils dans salle des machine : au moins deux seuils requis ; par exemple 2000 ppm (alarme et démarrage extracteur) et 4000 ppm (alarme et mise en sécurité en plus des actions précédentes) ;
 - Tenue à la basse température : les détecteurs électrochimiques ont des plages de fonctionnement réduites (plage 0°C - 40°C selon les essais réalisés par l'INERIS en 2008) ; il faudra s'assurer que la plage de fonctionnement est compatible avec l'installation (chambre froide, extérieur et une fuite importante potentielle (chute de température) ;
- Temps de réponse : quelques secondes à quelques minutes ; les détecteurs catalytiques sont plus rapides (quelques secondes à partir du déclenchement) que les électrochimiques (de l'ordre de 30 secondes) ; le temps de réponse est à vérifier au moment des tests ; pour les cinétique des scénarios, considérer le temps de réponse de la chaine globale et ajouter le temps de réponse de l'extracteur et/ou arrêt des installations ;
- Dispositif technique simple ou complexe (voir NC) ;
- Sécurité positive sur le détecteur : déclencher une alarme visuelle et action corrective ou mesure compensatoire ; nécessite une alimentation secourue et distincte de l'alimentation de la salle des machines (en particulier la coupure sur détection gaz des alimentations électriques ne doit pas conduire à une coupure de l'alimentation des détecteurs) ;
- Test / Maintenance : effectué régulièrement (partie électrique peut être faite par utilisateur et partie « cellule » doit être faite par un spécialiste (le plus souvent le fournisseur) ; vérifié semestriellement selon guide AFF ; contrat d'entretien avec constructeur (cf. [2])

Détection gaz : NC1 usuellement ou SIL⁶ si certifié

Détecteur (cellule + transmetteur) : souvent certifié (SIL1 ou SIL2 selon 61508) et on peut conserver le NC équivalent au SIL (l'efficacité doit être vérifiée) ;

Si non certifié, il s'agit usuellement d'un dispositif simple ou complexe (signal analogique sans ou avec programmation) ; usuellement NC1 (car chien de garde usuel sur les systèmes programmés)

Centrale : automate spécifique (le plus souvent) ou automate de l'exploitant ; Si centrale spécifique, est usuellement certifiée (SIL1 ou SIL2) ;

Si automate : usuellement NC1 (car chien de garde) ; si certifié : conserver le SIL.

Pour plus d'informations, le lecteur se reportera aux fiches Badoris sur le site internet de l'INERIS :

- Fiche sur les détecteurs électrochimiques et capacitifs : détecteur ammoniac : BADORIS - Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.)
- Détecteur fixe de gaz ammoniac - Version 1.1 – janvier 2008 : Fiche sur les détecteurs de gaz inflammables : Détecteur de gaz inflammable – 2004.

⁶ Le SIL (Safety Integrity Level) traduit la fiabilité de la MMR. Il est déterminé dans le cadre de certifications de matériel.

L'évaluation de la maîtrise des détecteurs de gaz a fait l'objet d'une fiche d'inspection spécifique (voir Annexe 11) dans le cadre d'une action nationale lancée par le MEDDE en 2014. Le lecteur pourra se reporter à cette fiche et à son guide pédagogique [x] afin d'avoir un complément d'informations pour la maîtrise des détecteurs de gaz, en particulier les aspects « dimensionnement » et « temps de réponse ».

Coupure du système de réfrigération (coupure des contacteurs)

- Indépendance : sans objet
- Concept éprouvé en sécurité ;
- Dimensionnement et contraintes spécifiques : s'assurer que le relais est bien dimensionné vis-à-vis du courant pouvant le traverser (intensité, pouvoir de coupure) ;
- Temps de réponse : quelques dizaines de millisecondes ;
- Dispositif technique simple ;
- Sécurité positive : les relais de commande et les contacteurs doivent être ouverts en position de repos ;
- Test / Maintenance : effectué régulièrement ;

Coupure système réfrigération : NC1 usuellement ou SIL si certifié

Relais de commande et contacteurs : s'ils sont certifiés, on retient le SIL ; sinon NC1 par défaut (en cas de tests fréquents, possibilité au cas par cas de passer à NC2, sur justification).

Alarme : NC1 par défaut

Il faudra s'assurer de l'efficacité des alarmes : position (visibilité de l'alarme visuelle ou audibilité de l'alarme sonore) et niveau sonore.

Des tests sont à effectuer régulièrement.

Alarme et action humaine sur arrêt urgence à l'extérieur de la salle des machines – considéré usuellement comme un EIPS

- Indépendance de la conduite ;
- Concept éprouvé en sécurité ;
- Dimensionnement et contraintes spécifiques :
 - Positionnement : arrêts d'urgence (commandes manuelles) positionnés dans la salle des machines et à l'extérieur du local ;
 - Relais : s'assurer que le relais est bien dimensionné vis-à-vis du courant pouvant le traverser (intensité, pouvoir de coupure) ;
 - Action humaine : le personnel doit savoir quelles actions mener (procédures d'urgence...) et être formé ;
- Temps de réponse : quelques millisecondes pour le relaiage mais il faut ajouter le temps de réponse du personnel d'intervention qui dépend de sa disponibilité (plusieurs dizaines de minutes en ordre de grandeur) (local à distance ou non) ; requis : maxi 60 minutes pour site de plus de 3 tonnes à vérifier ;
- Dispositif technique simple : relaiage ;
- Sécurité positive sur le relaiage ;
- Test / Maintenance : effectué régulièrement ; vérifier trimestriellement selon guide AFF (cf. [2])

Alarme et action humaine : NC1

Un arrêt d'urgence du compresseur se trouve aussi en façade de compresseur

Intervention humaine à l'intérieur de la salle des machines

Intervention humaine : NC0

En cas d'intervention dans le local, des EPI doivent être disponibles à proximité ; mais intervention difficile avec mauvaise visibilité du fait de la fuite d'ammoniac et coupure électrique (éclairage de secours uniquement)

Ventilateur (réduction des effets) – considéré usuellement comme un EIPS

- Indépendance de la conduite ; alimentation distincte de l'alimentation de la salle des machines (en particulier la coupure sur détection gaz des alimentations électriques ne doit pas conduire à une coupure de l'alimentation des extracteurs) ;
- Concept éprouvé en sécurité ;
- Dimensionnement et contraintes spécifiques :
 - Débit mini : $V = 14 \times 10^{-3} \times m^{2/3}$, où V est le débit d'air en m^3/s ; m est la masse de la charge de fluide frigorigène, en kg ;
 - Débit maxi : 15 renouvellements/h d'air ;
 - Moteur ATEX sauf s'il est situé à l'extérieur de la conduite ; conception sans étincelles possibles ;
 - Grilles de ventilation en partie basse ; surface d'entrée d'air suffisante pour assurer le débit (voir spécification de l'extracteur) ;
 - Étanchéité : « l'étanchéité » est assurée par des portes coupe-feu et le scellement des passages de tuyauteries et gaines ; ceci permet de limiter les fuites par les orifices au niveau du sol ou vers des locaux habités en cas de fuite ; il ne s'agit pas d'une étanchéité « totale » (plus une préoccupation de non-propagation d'un incendie) ;
 - Contacteur : s'assurer que le relais est bien dimensionné vis-à-vis du courant pouvant le traverser ;
 - Position de la gaine d'extraction dans le local : en partie haute de la salle des machines ;
- Dispositif technique simple ;
- Gaine d'extraction : tenir compte dans les évaluations des effets de la hauteur de la cheminée, de son diamètre et de la direction de sortie (sortie verticale à vérifier) ;
- Temps de réponse : de l'ordre de quelques secondes (vérifier par des tests) à partir du déclenchement (mais ajouter temps de réponse du détecteur pour la chaîne globale) ;
- Dispositif technique simple ;
- Sécurité positive :
 - Pas de concept de sécurité positive sur l'extracteur ; nécessite une alimentation indépendante des autres équipements de la salle des machines ;
 - Sur le contacteur : doit être fermé en position de repos ;
 - Sur les relais de commande : doivent être ouverts en position de repos ;
- Test / Maintenance : effectué régulièrement ; vérifier trimestriellement selon guide AFF (cf. [2])

Démarrage ventilateur en marche forcée : NC1

Attention à vérifier que les entrées d'air des locaux ne peuvent pas reprendre les gaz émis.

ANNEXE 8

Caractérisation de l'intensité

Cette annexe apporte des éléments méthodologiques pour caractériser les intensités.

Elle permet aussi une lecture critique des intensités évaluées dans le cadre d'une étude de dangers, en présentant des courbes paramétrées de distances d'effets.

1. RAPPELS PRELIMINAIRES SUR LA PHENOMENOLOGIE

Une partie de cette discussion est tirée du rapport Ω -19 de l'INERIS [13].

1.1 TERMINOLOGIE

Dans une installation de réfrigération fonctionnant à l'ammoniac, les modes de rejet peuvent être variés. Il peut s'agir aussi bien d'un rejet quasi-instantané de la totalité du fluide contenu (ruine de réservoir) que d'une fuite à très faible débit à travers un orifice de la taille d'une pointe d'aiguille (fuite par corrosion). On distingue donc deux catégories de rejets : les **rejets instantanés** et les **rejets continus**. Dans cette deuxième catégorie de rejets sont aussi incluses les brèches sur une paroi de réservoir (plus communément appelées « brèche en ras de parois »), les ruptures de tuyauteries (ou « rupture guillotine »), les fuites sur joint de bride, les brèches sur les tuyauteries...

Dans les rejets continus, il est encore possible de différencier deux sous-catégories :

- **Les rejets stationnaires** qui correspondent à des brèches de petits diamètres au regard des quantités stockées. Dans ce cas, les débits de fuite varient suffisamment lentement pour considérer que les équilibres thermodynamiques sont maintenus
- **Les rejets non stationnaires** dans le cas de fuites massives (typiquement la rupture guillotine d'une tuyauterie). Dans ce cas, le réservoir est la tuyauterie elle-même et le débit de fuite peut évoluer rapidement.

A noter que lorsque la rupture considérée se trouve sur une tuyauterie reliant plusieurs capacités, la quantité de produit susceptible d'être rejetée par chaque capacité doit être prise en compte. En particulier, en cas de rupture guillotine d'une tuyauterie, le rejet issu de chacune des deux portions désolidarisées de tuyauterie doit être considéré. **On parle alors de contributions « amont » et « aval »** selon le sens de circulation du fluide en fonctionnement normal de l'installation.

1.2 INFLUENCE DE L'ETAT DU FLUIDE SUR LA NATURE DU REJET

L'état du fluide correspond à son état physique : liquide, gazeux ou diphasique. L'état initial caractérise l'état du fluide dans son contenant (réservoir, tuyauterie...) avant la perte de confinement. L'état final caractérise l'état du fluide après la perte de confinement, c'est-à-dire dans les conditions ambiantes de pression et température (typiquement 101325 Pa et 15 – 20 °C).

Dans les installations de réfrigération, l'état initial de l'ammoniac est soit gazeux, soit liquide sous pression. En cas de rejet accidentel, les mécanismes mis en œuvre différeront selon cet état initial du fluide (cf. Figure 1) :

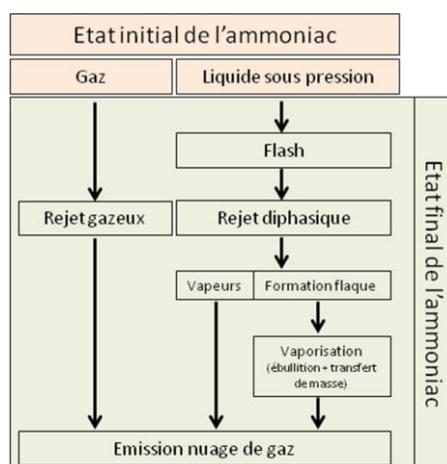


Figure 1 : Mécanismes physiques mis en jeu lors d'un rejet accidentel d'ammoniac

- Si la perte de confinement survient sur un équipement contenant de l'ammoniac gazeux, la fuite sera 100 % gazeuse et l'ensemble de l'inventaire rejeté participera à l'émission du nuage toxique.
- Si la perte de confinement survient sur un équipement contenant de l'ammoniac liquide sous pression, la phénoménologie est plus complexe (cf. Figure 2). Dans un premier temps, le liquide sous pression subira une détente brutale de sa pression de stockage jusqu'à la pression atmosphérique. Cette détente s'accompagne d'une **vaporisation partielle du produit (aussi appelée « flash»)** qui entraîne la fragmentation du jet liquide en fines gouttelettes. La fuite est alors diphasique. Dans cette zone de détente, plus communément appelée **zone d'expansion**, aucune dilution n'est possible entre le jet diphasique d'ammoniac et l'air ambiant puisque la pression qui y règne est supérieure à la pression atmosphérique. S'ensuit alors **la zone d'entraînement** où la dilution devient possible. L'air entraîné dans le mélange diphasique va apporter ses calories pour vaporiser une partie des gouttelettes tandis qu'une autre partie de ces gouttelettes, sous l'action de leur poids, va tomber au sol (= **rain-out**) pour former une flaque qui s'évaporerait. A noter que la cinétique d'évaporation de cette flaque va évoluer au cours du temps : d'abord très violente tant que le sol est suffisamment chaud (= ébullition) puis plus lente lorsque que le sol sera en équilibre thermique avec la flaque (= évaporation par transfert de masse). Dans le cas d'un stockage d'ammoniac liquide sous pression, le nuage toxique sera donc alimenté par le flash, l'évaporation par entrainement de l'air ambiant dans le mélange diphasique et l'évaporation du rain-out formé au sol.

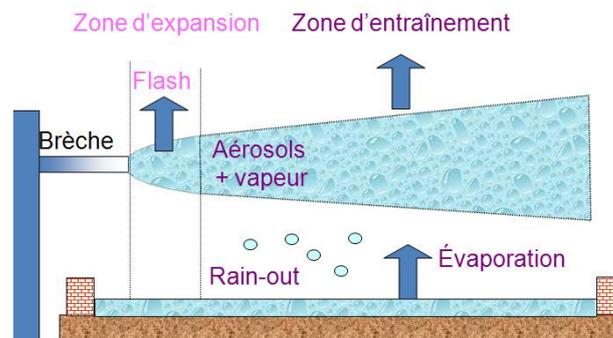


Figure 2 : Phénoménologie associée à un rejet d'ammoniac liquide sous pression non-impactant

1.3 PARTICULARITES D'UN REJET SURVENANT DANS UNE SALLE DES MACHINES

La salle des machines d'une installation de réfrigération sert à abriter les équipements utilisant l'ammoniac. C'est donc un espace confiné et fortement encombré.

Dans le cas d'une fuite purement gazeuse, 100 % du débit rejeté à la brèche participera instantanément à l'émission du nuage dans la salle des machines (cf. Figure 3a).

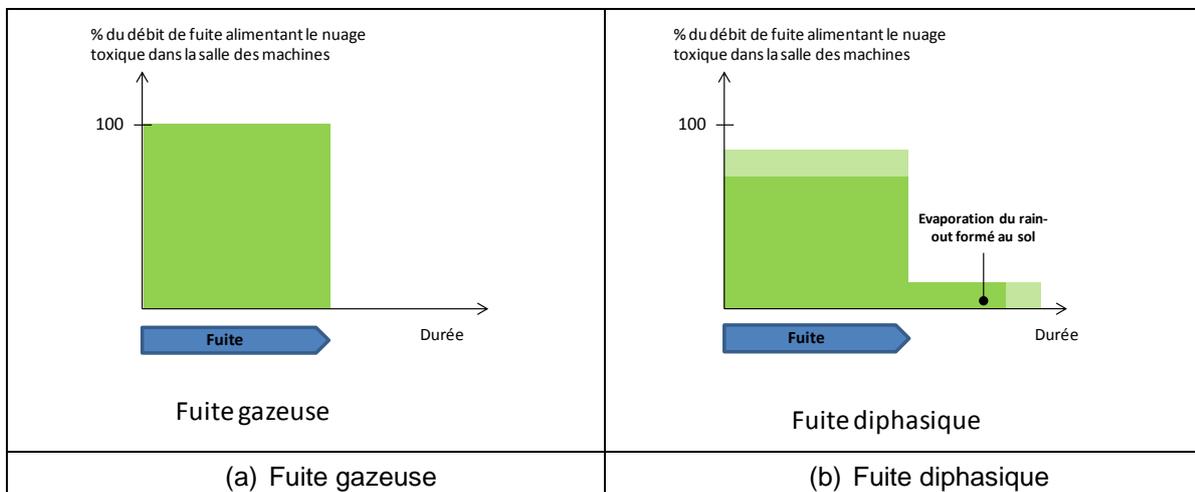


Figure 3 : Comparaison de la cinétique de formation du nuage toxique dans la salle des machines

Dans le cas d'une fuite diphasique, le nuage émis dans la salle des machines sera alimenté par plusieurs contributions (flash + évaporation d'une partie des gouttelettes par entraînement de l'air ambiant + évaporation du rain-out formé au sol). Chacune de ces contributions est dotée de sa propre cinétique puisque, **si le flash et l'évaporation des gouttelettes par entraînement de l'air ambiant participent à la formation du nuage toxique uniquement pendant la durée du rejet, l'évaporation du rain-out formé au sol peut se prolonger dans la salle des machines bien après la fin du rejet** (cf. Figure 3b). A noter que cette deuxième contribution est secondaire par rapport à la première.

La présence d'un obstacle en aval de la brèche (autre équipement de l'installation, mur de la salle des machines...) aura une influence sur la formation du nuage toxique uniquement si, au point d'impact, la fuite est encore constituée d'une quantité importante de gouttelettes en suspension. Cela ne concerne donc pas la fuite purement gazeuse ou la fuite diphasique dont la totalité des gouttelettes aura eu le temps de se vaporiser ou de tomber au sol avant l'impact. Sur ce sujet, l'INERIS a mené plusieurs campagnes expérimentales ([14], [15], [16] et [17]) et a pu constater que l'obstacle joue le même rôle que celui du sol sur le rain-out (cf. discussion du paragraphe précédent). Au début du rejet, l'obstacle est à température ambiante et donc suffisamment chaud pour vaporiser les gouttelettes d'ammoniac venant l'impacter. Mais, au fur et à mesure que le rejet se prolonge, l'obstacle chute en température et il devient de moins en moins capable de céder des calories aux gouttelettes. Ces dernières ruissellent alors le long l'obstacle pour alimenter le rain-out formé au sol. Par conséquent, si l'on reprend la Figure 3b, la présence d'un obstacle sur le parcours d'une fuite diphasique d'ammoniac tendra à diminuer la part du débit à la brèche participant directement à la formation du nuage toxique pendant la durée du rejet mais à rallonger la durée d'évaporation du rain-out répandu sur le sol de la salle des machines.

Le nuage toxique se diluera avec l'air ambiant de la salle des machines avant d'être rejeté à l'atmosphère de manière contrôlée (extraction...) ou incontrôlée (interstices du local...). Cette dilution dépendra du volume libre du local (c'est-à-dire du volume interne du local auquel on soustrait le volume occupé par les équipements présents à l'intérieur) et de son débit d'extraction. De même, il convient d'alerter le lecteur sur la nécessité de comparer la cinétique de formation du nuage toxique à l'intérieur de la salle des machines avec la capacité de la ventilation à l'extraire hors du local. On a vu précédemment que la cinétique de formation du nuage toxique pouvait évoluer dans le temps. C'est le cas aussi de l'extraction puisque la ventilation réglementaire d'urgence prend le relais de la ventilation normale de l'installation dès que des vapeurs d'ammoniac sont détectées à l'intérieur du local. S'il s'avère que cette extraction est insuffisante, une montée en pression est possible dans le local. Le rejet atmosphérique du nuage toxique ne se fera pas uniquement à l'extraction (donc en hauteur) mais aussi au niveau des interstices du local (et donc à hauteur d'homme).

2. ELEMENTS D'APPRECIATION POUR LA QUANTIFICATION DES EFFETS

2.1 REMARQUES PRELIMINAIRES SUR LA MODELISATION DES EFFETS

L'objectif de cette partie est de pouvoir apporter au lecteur des éléments d'appréciation de telle sorte qu'il puisse exercer un regard critique sur les hypothèses et résultats de modélisation d'un phénomène dangereux. Partant du constat que la présentation des résultats intermédiaires de modélisation est plus ou moins détaillée selon l'EDD, cette partie cherchera plus particulièrement à répondre aux questions ci-dessous :

- Quelles sont les étapes à suivre pour la modélisation ?
- Connaissant la pression et le diamètre de rejet, comme puis-je évaluer l'ordre de grandeur du débit de fuite et le flash à l'orifice ?
- Quels sont les familles d'outils de dispersion atmosphérique ?

2.2 ETAPES A SUIVRE POUR LA MODELISATION DES EFFETS

Toute modélisation se fait en deux étapes. La première étape consiste à caractériser le terme source à la brèche c'est-à-dire à quantifier les principaux paramètres (phase du produit, débit rejeté, température...) près de l'orifice. La seconde étape étudie la dispersion de ce terme source dans l'atmosphère et, par confrontation des résultats obtenus avec les seuils réglementaires de toxicité aiguë, détermine les distances d'effets.

D'ores et déjà, il convient d'alerter le lecteur sur la **nécessité d'être cohérent dans le choix des outils durant ces deux étapes**. Par exemple, il ne serait pas pertinent de retenir un outil CFD¹ pour étudier la dispersion atmosphérique d'un terme source si ce dernier a été caractérisé de façon trop grossière. Et inversement, il serait dommage de caractériser finement le terme source rejeté par l'extraction si la modélisation de dispersion atmosphérique, qui s'ensuit, fait appel à un outil mal approprié. Sur ce sujet, une présentation des outils de dispersion atmosphérique ainsi que leur modalité d'application est faite dans le paragraphe 2.4.

2.2.1 Cas d'un scénario accidentel survenant à l'extérieur

Dans le cas d'une rupture ou fuite de tuyauterie survenant à l'extérieur (par exemple, rupture sur le circuit BP de l'installation situé hors de la salle des machines), le travail se limitera à caractériser le terme source à la brèche puis à étudier sa dispersion atmosphérique. L'approche reste la même quelle que soit la nature du rejet (gazeux ou diphasique). Il faudra être vigilant sur la possibilité que le terme source soit alimenté aussi bien côté amont que côté aval de la brèche. Dans ce cas, le rapport Ω -19 [13] propose une méthodologie pour intégrer ces deux contributions dans le terme source qui sera ensuite dispersé à l'atmosphère.

2.2.2 Cas d'un scénario accidentel survenant à l'intérieur d'un local

Dans le cas d'une rupture ou fuite de tuyauterie survenant dans un local (par exemple, fuite de réservoir dans la salle des machines), il conviendra (cf. Tableau 1):

- de déterminer les paramètres principaux à la brèche en tenant compte du fait que le rejet peut être alimenté par les deux côtés de la brèche et de s'interroger sur le devenir de ce terme source depuis la brèche jusqu'à son évacuation hors du local.
- de comparer la cinétique de formation du nuage toxique généré par le scénario accidentel avec la capacité du local à extraire ce nuage. Cette comparaison permet de statuer si une montée en pression ΔP est possible dans le local et si des fuites peuvent survenir à travers les ouvertures – volontaires ou pas – du local. Dans ce cas, l'évacuation du nuage toxique ne se fait pas uniquement par la cheminée d'extraction mais aussi par les vanelles (si celles-ci s'ouvrent vers l'extérieur) et/ou par les défauts d'étanchéité du local.
- de caractériser le (ou les) terme(s) source(s) au niveau de l'enveloppe du local. En effet, en cas de montée en pression dans le local, on a vu précédemment que le rejet à l'atmosphère pouvait être « multi-source », c'est-à-dire pas seulement localisé au niveau de la cheminée d'extraction.
- d'étudier la dispersion atmosphérique du (ou des) terme(s) source(s). Il n'existe pas toujours d'outil permettant de modéliser la dispersion de plusieurs termes sources localisés à différents endroits. Pour s'affranchir de cette difficulté, on peut envisager d'étudier la dispersion atmosphérique de chaque terme source, pris indépendamment l'un de l'autre, et de sommer ensuite la dose reçue par un individu à différente distance du local. A ce stade, il convient de rappeler deux recommandations importantes issues de la circulaire du 10 mai 2010, et en lien direct avec la thématique des installations de réfrigération :
 - plusieurs conditions météorologiques devront être analysées si le rejet se fait en altitude, est vertical ou implique un gaz léger,
 - dans le cas où la modélisation conclut à l'absence d'effet toxique au sol (cas des panaches ascendants), il faut préciser les distances d'effets en hauteur à proximité de l'installation (i.e. dans l'axe du panache) de manière à pouvoir prédire des restrictions par exemple sur

¹ *Computational Fluid Dynamics*

les immeubles de grande hauteur dans le cadre de la maîtrise de l'urbanisation future.

1	Caractérisation du terme source à la brèche
2	Etude du devenir du terme source dans le local (formation et évaporation de flaque, impact éventuel du jet...)
3	Détermination de la cinétique de formation du nuage toxique dans le local (Q_i)
4	Comparaison du débit volumique Q_i avec le débit extrait par le local (Q_{extr}) pour statuer si une montée en pression est possible
5	Caractérisation du (ou des) terme(s) source(s) au niveau de l'enveloppe du local (extraction, vantes, interstices...)
6	Etude de la dispersion atmosphérique du (ou des) terme(s) source(s)

Tableau 1 : Etapes à suivre pour toute modélisation de scénario accidentel survenant à l'intérieur d'un local

2.3 ÉLÉMENTS D'APPRECIATION D'UN DÉBIT DE FUITE A LA BRECHE

Pour déterminer le débit massique à la sortie d'un réseau tel qu'une installation de réfrigération, il existe des modèles plus ou moins complexes selon les phénomènes physiques pris en compte et selon la phase sous laquelle se présente l'ammoniac. Néanmoins, tous ces modèles s'écrivent sous la forme générale :

$$Q_m = C_d \times \rho \times S \times U \quad \text{Equation 1}$$

Avec :

- Q_m [kg/s] le débit massique de fuite,
- C_d [-] le coefficient de décharge,
- ρ [kg/m³] la masse volumique de l'ammoniac,
- S [m²] la section de l'orifice,
- U [m/s] la vitesse du fluide à l'orifice.

Les principaux « moteurs » à la circulation du fluide sont les compresseurs/pompes ou le différentiel de pression entre l'amont du réseau (pression de fonctionnement de l'installation) et l'aval de la brèche (le plus souvent, la pression atmosphérique). En parallèle, le principal « frein » à la circulation du fluide est constitué par l'ensemble des frottements entre le fluide et les parois du réseau (pertes de charge par frottement) ainsi que tous les changements de géométrie du réseau (pertes de charge singulières) telles que les restrictions de diamètre, les embranchements, les coudes, les vannes... **Il convient donc de localiser les pertes de confinement au plus près des éléments moteurs de telle sorte que l'évaluation des effets soit la plus prudente possible.**

A partir de maintenant, la discussion s'attache à présenter des éléments d'appréciation (formules, tableaux...) du débit de fuite. Pour faciliter le repérage, la Tableau 2 indique le numéro de paragraphe à consulter en fonction de la nature et de la localisation de la fuite.

Élément « moteur »	Phase du rejet	Type de rejet	Exemples	Paragraphe
Compresseur	Gaz	NP	Rupture de tuyauterie en sortie compresseur	2.3.1
Pompe	Liquide	NP	Rupture de tuyauterie en sortie pompe	2.3.2
Pression	Gaz	Ras de paroi de réservoir	Rupture piquage en tête de réservoir Fuite sur tuyauterie gazeuse	2.3.3.1
		En bout de tuyauterie	Ouverture soupape gainée Ouverture purge des incondensables Rupture de tuyauterie gazeuse	2.3.3.2
	Liquide	Ras de paroi de réservoir	Rupture piquage au pied du réservoir Fuite sur tuyauterie liquide	2.3.4.1
		En bout de tuyauterie	Rupture de tuyauterie liquide	2.3.4.2

Tableau 2 : Tableau de repérage rapide pour l'évaluation des débits de fuite (NP : Non Pertinent)

Les débits calculés peuvent ne pas correspondre parfaitement à ceux affichés dans l'étude de dangers mais, néanmoins, ils doivent constituer un bon ordre de grandeur. Dès qu'un écart important est observé, il convient alors de s'interroger sur l'origine de cet écart.

Enfin, il est utile de rappeler qu'une perte de confinement sur l'installation de réfrigération s'accompagne nécessairement d'une chute de pression interne et donc, généralement, d'une diminution du débit de fuite. **Les valeurs renseignées dans les Tableaux 3 à 5 ont été calculées en supposant que les conditions de pression et température du fluide n'évoluent pas au cours du temps.** Ce sont donc des valeurs maximales de débit de fuite.

2.3.1 Cas d'une fuite au refoulement du compresseur

Si la brèche survient au refoulement du compresseur, le débit de fuite va être imposé par le fonctionnement de l'équipement lui-même. Il existe plusieurs types d'équipement mais la technologie la plus souvent rencontrée dans les installations de réfrigération fonctionnant à l'ammoniac est le compresseur de type volumétrique. Dès lors, le « Guide bleu » de l'UFIP [18] précise que **le débit de fuite gazeux est limité au débit nominal de service de l'équipement.** En d'autres termes, il n'y a pas de risque de voir d'équipement s'emballer et donc le débit de croître au-delà du débit nominal de fonctionnement.

2.3.2 Cas d'une fuite au refoulement de la pompe

Une nouvelle fois, le débit de fuite va être imposé par le fonctionnement de la pompe en cas de brèche survenant en aval de cet équipement. La technologie la plus répandue dans les installations de réfrigération à l'ammoniac est la pompe centrifuge. Dès lors, le « Guide bleu » de l'UFIP [18] précise que **le débit de fuite liquide est au moins égale au débit nominal de service de la pompe centrifuge**. En d'autres termes, il y a emballement de l'équipement. Ce débit de fuite liquide est généralement compris entre 1,3 et 2,5 fois le débit nominal de fonctionnement de la pompe.

2.3.3 Cas d'une fuite 100 % gazeuse

2.3.3.1 En ras de paroi de réservoir

En fonction du rapport de pression entre l'intérieur du réservoir et l'atmosphère, on s'attend à deux régimes de fuite : subsonique ou supersonique.

Le régime subsonique sera observé si :

$$\frac{P}{P_a} < \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad \text{Equation 2}$$

Et, dans ce cas, le débit de fuite devra être calculé à l'aide de la relation suivante :

$$Q_m = C_d \times S \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma - 1} \times \rho_g P \times \left(\frac{P_a}{P} \right)^{\frac{2}{\gamma}} \left(1 - \left(\frac{P_a}{P} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right)} \quad \text{Equation 3}$$

Avec :

P [Pa] la pression dans le réservoir,

P_a [Pa] la pression atmosphérique (P_a = 101325 Pa)

γ [-] le rapport des chaleurs spécifiques de l'ammoniac. Entre 10 et 35°C, sa valeur varie entre 1,4 et 1,5

ρ_g [kg/m³] la masse volumique de l'ammoniac gazeux.

Le régime supersonique sera observé si :

$$\frac{P}{P_a} \geq \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad \text{Equation 4}$$

Et, dans ce cas, le débit de fuite devra être calculé à l'aide de la relation suivante :

$$Q_m = C_d \times S \sqrt{\rho_g P \times \gamma \times \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \quad \text{Equation 5}$$

Grâce à ces relations, on constate que l'écoulement passe du régime subsonique au régime supersonique dès que la pression dans le réservoir est supérieure à 1,9 bar abs. Cela correspond à une température de vapeur saturante de $T_{\text{sat}} = -20^\circ\text{C}$. Cela signifie aussi que, si le scénario accidentel ne concerne pas le circuit BP de l'installation de réfrigération, il est fort probable que l'estimation du débit de la fuite gazeuse se fasse à partir de l'Equation 5.

Le Tableau 3 présente les débits théoriques pour une T_{sat} variant entre 10 et 35°C et un diamètre d'orifice entre 5 et 100 mm. Compte tenu des pressions étudiées, la fuite atteint un régime supersonique à l'orifice. Ces valeurs tiennent compte du fait que la masse volumique de l'ammoniac gazeux est fonction de sa température et de sa pression. Le coefficient de décharge est pris égal à $C_d = 0,9$.

$T_{\text{sat}} [^\circ\text{C}]$		10	15	20	25	30	35
$P [\text{bar}]$		6,1	7,3	8,6	10,0	11,6	13,5
$\varnothing [\text{mm}]$	$\varnothing ["]$	Débit de fuite Q_m en kg/s					
5	0,2	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
15	0,6	0,18	0,21	0,25	0,29	0,33	0,38
25	1,0	0,50	0,59	0,69	0,80	0,92	1,06
50	2,0	2,00	2,35	2,75	3,20	3,70	4,26
75	3,0	4,51	5,30	6,19	7,19	8,32	9,58
100	3,9	8,01	9,41	11,00	12,78	14,79	17,03

Tableau 3 : Estimation du débit pour une fuite 100% gazeuse en ras de paroi ($C_d = 0,9$)

2.3.3.2 En bout de tuyauterie

Selon l'INERIS, il n'existe pas de formulation simple pour prédire le débit d'une fuite gazeuse survenant en bout de tuyauterie. Du fait des pertes de charge induites par l'écoulement de gaz du réservoir jusqu'à l'orifice lors de son passage dans la tuyauterie ou à travers des singularités (vanne, piquage, capteur...), on peut juste indiquer que **le débit de fuite sera nécessairement inférieur à celui calculé pour le même orifice positionné en ras de paroi du réservoir** (cf. paragraphe précédent).

2.3.4 Cas d'une fuite 100 % liquide

Dans ce paragraphe, on considère comme seul moteur à la circulation du liquide le différentiel de pression régnant entre l'intérieur du réservoir et l'atmosphère. La colonne de liquide présente dans le réservoir pourrait aussi influencer sur le débit de fuite. Toutefois, pour les pressions de stockage et les géométries de réservoir habituellement rencontrées dans les installations de réfrigération, son influence est jugé faible sur le débit calculé.

2.3.4.1 En ras de paroi de réservoir

Dans ce cas, le débit de fuite peut être évalué à l'aide de la relation de Bernoulli :

$$Q_m = C_d \times \rho_l \times S \times \sqrt{\frac{2(P - P_a)}{\rho_l}} \quad \text{Equation 6}$$

Où :

- Q_m [kg/s] correspond au débit massique de fuite,
- C_d [-] au coefficient de décharge,
- ρ_l [kg/m³] à la masse volumique de l'ammoniac liquide,
- S [m²] à la section de l'orifice,
- P [Pa] à la pression dans le réservoir,
- P_a [Pa] à la pression atmosphérique ($P_a = 101325$ Pa)

Le Tableau 4 présente les débits de fuite ainsi calculés. Il convient de préciser que ces valeurs tiennent compte du fait que la masse volumique de l'ammoniac liquide est fonction de sa température et que le coefficient de décharge est égal à $C_d = 0,6$.

T_{sat} [°C]	10	15	20	25	30	35	
P [bar]	6,1	7,3	8,6	10,0	11,6	13,5	
Ø [mm]	Ø ["]	Débit de fuite Q_m en kg/s					
5	0,2	0,30	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45
15	0,6	2,68	2,94	3,21	3,49	3,77	4,05
25	1,0	7,44	8,18	8,92	9,68	10,46	11,25
50	2,0	29,78	32,71	35,69	38,74	41,84	45,00
75	3,0	67,00	73,59	80,31	87,16	94,14	101,25
100	3,9	119,12	130,83	142,77	154,95	167,36	180,01

Tableau 4 : Estimation du débit pour une fuite 100% liquide en ras de paroi ($C_d = 0,6$)

2.3.4.2 En bout de tuyauterie

Dès que la fuite survient non pas en ras de paroi de réservoir mais sur une tuyauterie reliée à la phase liquide du réservoir, le débit de fuite ne peut plus être estimé à l'aide du Tableau 1. Il serait alors beaucoup trop majorant. En effet, du fait des pertes de charge induites par la restriction de l'écoulement en sortie de réservoir et par le frottement de ce même écoulement dans la tuyauterie, une partie de l'ammoniac liquide se vaporise ce qui se traduit par une baisse significative du débit.

Pour cette situation, le guide UIC [19] propose une approche relativement simple pour estimer le débit de fuite qui s'avère être du bon ordre de grandeur². Cette approche part du constat que « l'écoulement diphasique entraîne une diminution de la pression dans la tuyauterie dans un rapport de 0,55 ». Dès lors, l'Equation 1 devient :

$$Q_m = C_d \times \rho_d \times S \times \sqrt{\frac{0,9 \times P}{\rho_d}} \quad \text{Equation 7}$$

Avec :

$$\rho_d = \frac{1}{\frac{x}{\rho_g} + \frac{1-x}{\rho_l}} \quad \text{Equation 8}$$

Où :

ρ_d [kg/m³] correspond à la masse volumique du mélange diphasique, calculée elle-même en fonction des masses volumiques du gaz et du liquide (respectivement ρ_g et ρ_l) au débouché de la tuyauterie,

x [kg/kg] à la fraction vaporisée d'ammoniac liquide.

Le Tableau 5 présente une synthèse des résultats obtenus. Pour une même section d'orifice, on constate que le débit 100% liquide en ras de paroi de réservoir est 2 à 3 fois plus important que le débit diphasique obtenu au niveau de la tuyauterie.

T_{sat} [°C]		10	15	20	25	30	35
P [bar]		6,1	7,3	8,6	10,0	11,6	13,5
Ø [mm]	Ø ["]	Débit de fuite Q_m en kg/s					
5	0,2	0,10	0,11	0,12	0,14	0,15	0,17
15	0,6	0,86	0,98	1,10	1,24	1,39	1,55
25	1,0	2,38	2,71	3,07	3,45	3,87	4,30
50	2,0	9,51	10,84	12,27	13,82	15,47	17,21
75	3,0	21,40	24,39	27,62	31,09	34,80	38,73
100	3,9	38,04	43,35	49,10	55,27	61,87	68,86

Tableau 5 : Estimation du débit pour une fuite 100% liquide (Cd = 1,0)

² La longueur de tuyauterie avant la brèche doit être supérieure ou égale à 12 fois son diamètre pour pouvoir appliquer cette approche.

2.4 PRESENTATION DES DIFFERENTS MODELES DE DISPERSION ATMOSPHERIQUE

On peut distinguer trois grandes familles de modèle de dispersion atmosphérique : le modèle gaussien, le modèle de type intégral et le modèle tridimensionnel (ou plus communément modèle CFD). Sont listées ici les familles des plus simples à mettre en œuvre aux plus élaborées mais cela ne veut pas dire que la précision va en augmentant pour autant. En effet, dans son domaine de validité, chacune de ces familles reste pertinente.

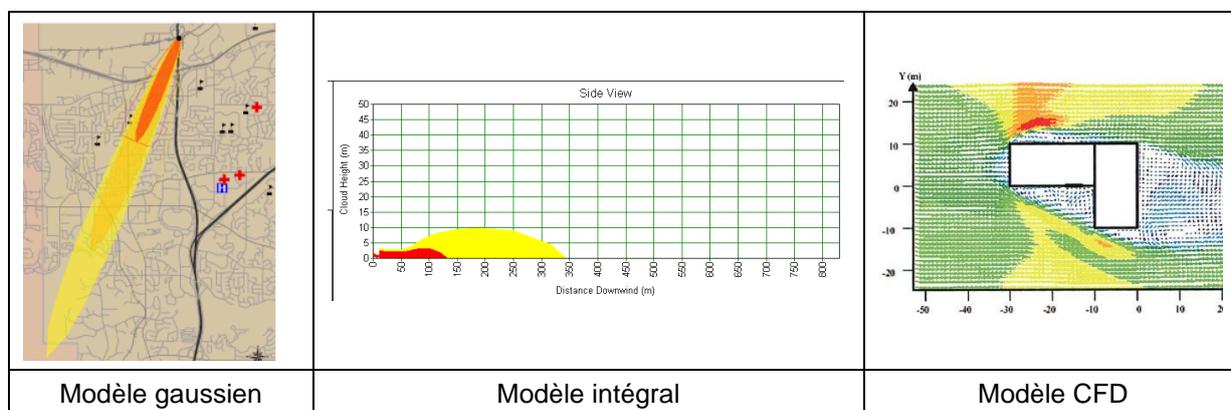


Figure 4 : Exemples d'illustration par famille de modèle de dispersion atmosphérique

2.4.1 Modèle gaussien

Le modèle gaussien s'applique aux rejets de gaz passifs c'est-à-dire à tout gaz dont la dispersion s'apparente à celle de l'air ambiant. Par conséquent, il s'agit de gaz dont la densité et la température sont proches de celle de l'air et dont la vitesse initiale de rejet est, relativement à celle de l'air environnant, nulle. Ces considérations permettent de dresser le Tableau 6:

Situation non pertinente	Situation pertinente
<p>A - Rejet diphasique <i>[Sous sa forme diphasique, l'ammoniac est plus lourd que l'air ambiant du fait de la présence de gouttelettes dans la phase vapeur. Ces effets de gravité ne sont pas pris en compte par le modèle gaussien]</i></p>	
<p>B - Rejet gazeux fortement chargé en vapeur d'ammoniac <i>[Sous sa forme gazeuse, l'ammoniac est plus léger que l'air ambiant. Ces effets de flottabilité ne sont pas pris en compte par le modèle gaussien]</i></p>	<p>D - Rejet gazeux faiblement chargé en vapeur d'ammoniac et non animé d'une forte vitesse à la brèche ou à l'extraction</p>
<p>C - Tout type de rejet dès lors qu'il est animé d'une forte vitesse à la brèche ou à l'extraction <i>[La dispersion du rejet est d'abord pilotée par son inertie. Or cet effet n'est pas pris en compte par le modèle gaussien]</i></p>	

Tableau 6 : Identification des situations pertinentes et non-pertinentes pour le modèle gaussien

Même s'il n'est pas pertinent pour la situation B, on peut toutefois préciser que le modèle gaussien donne des distances d'effets majorantes.

2.4.2 *Modèle de type intégral*

Le modèle de type intégral a un domaine d'application plus large que le modèle précédent puisqu'il intègre plusieurs « sous-modèles » :

- Un premier « sous-modèle » de jet qui s'intéresse à la phase initiale de dispersion du nuage, souvent dominée par l'inertie du jet en sortie de brèche,
- Un second « sous-modèle » prenant en compte les effets de flottabilité ou gravité sur la dispersion du nuage lorsque celle-ci n'est plus dominée par l'inertie du jet,
- Et un troisième « sous-modèle » gaussien appliqué à la phase finale de la dispersion.

Parmi les principales limites, on peut indiquer que :

- le vent environnant est supposé constant (en amplitude et en direction) pendant toute la durée du rejet,
- la dispersion du nuage s'effectue sur un sol plat. Par conséquent, le nuage toxique ne doit pas rencontrer d'obstacle important lors de son parcours. Si l'obstacle est de faible taille par rapport à celle du nuage, les perturbations qu'il génère affectent de façon globale la dispersion du nuage. L'hypothèse d'un terrain plat, mais avec une rugosité bien adaptée, est généralement pertinente pour cette situation [13].

Ces éléments sont synthétisés dans le Tableau 7.

Situation non pertinente	Situation pertinente
A – Rejet avec vent fortement fluctuant en vitesse et en direction	C – Tout type de rejet dès lors que le vent est constant et que le sol est dépourvu d'obstacles de taille significative par rapport au nuage
B – Rejet avec présence d'un obstacle de taille significative par rapport au nuage	

Tableau 7 : Identification des situations pertinentes et non-pertinentes pour le modèle de type intégral

Si les situations A et/ou B sont rencontrés, il faudra alors faire appel à la troisième famille : le modèle tridimensionnel ou CFD.

2.4.3 *Modèle tridimensionnel ou CFD*

Si les deux précédents modèles de dispersion atmosphérique reposent sur une résolution simplifiée des équations de la mécanique des fluides, le modèle CFD résout ces mêmes équations de façon plus précise. L'approche consiste à subdiviser le domaine d'étude en plusieurs sous-éléments (aussi appelés cellules ou mailles) et à résoudre à l'intérieur de ces sous-éléments chacune de ces équations de la mécanique des fluides. Le lecteur intéressé pourra trouver plus d'information sur ce sujet dans la littérature spécialisée ([20], [21]...).

Toutefois, la mise en donnée du scénario accidentel est plus délicate à réaliser (moins bien « automatisée » car l'application du modèle CFD, contrairement aux deux précédents modèles, ne se limite pas exclusivement à la dispersion atmosphérique) et les temps de calculs peuvent varier de plusieurs heures à quelques jours selon la complexité de l'étude et les ressources informatiques mises à la disposition du modélisateur.

Ce type de modèle permet de prendre en compte l'influence d'un vent fluctuant ou la présence d'obstacles importants sur le déplacement du nuage toxique. Il faut rappeler que son utilisation est fortement encadrée par la circulaire du 10 mai 2010.

3. ORDRE DE GRANDEUR DES DISTANCES D'EFFETS

3.1 METHODOLOGIE DE CALCUL

Les abaques présentés dans cette section ont été élaborés en utilisant le logiciel de dispersion de type intégral PHAST v6.53. La rugosité de surface³ a été définie de telle sorte que la dispersion du nuage s'effectue sur un sol sans obstacles. Ces conditions sont représentatives de la majorité des cas pouvant être rencontrés dans les études de dangers.

3.2 RUPTURE EN SORTIE DU CONDENSEUR SITUE EN TOITURE

La Figure 5 permet d'estimer l'ordre de grandeur des distances d'effets toxiques dans le cas d'une rupture accidentelle de tuyauterie en sortie du condenseur qui serait lui-même situé en toiture de la salle des machines. La distance des effets irréversibles (SEI) ou premiers effets létaux (SEL) est ici exprimée en fonction du diamètre de la tuyauterie en sortie du condenseur. Pour un diamètre donné, la limite basse correspond à une pression de rejet de l'ordre de 6 bar et la limite haute à une pression de 13,5 bar. Du fait de la localisation du scénario accidentel, le rejet est diphasique et le nuage toxique généré a un comportement de gaz lourd.

Cet abaque repose sur les hypothèses suivantes ;

- le rejet est horizontal et s'effectue à une hauteur comprise entre 6 et 11 m,
- il n'y a pas de bouteille HP (aussi appelée « receiver ») en sortie du condenseur. Dès lors, le rejet est alimenté uniquement par le côté amont de la brèche, le détendeur situé plus en aval empêchant tout retour important d'ammoniac. Si un receiver est présent, le rejet sera alors alimenté par les cotés amont et aval de la brèche.
- Seulement l'inventaire HP de l'installation est rejeté à l'atmosphère. Celui-ci correspond à environ 5% de l'inventaire total des installations visées par ce document (soit 75 kg à 175 kg). Il n'est pas pris en compte :
 - L'isolement éventuel du rejet avant la vidange complète de l'inventaire HP ;
 - Le rejet en phase gaz, consécutif au rejet de l'inventaire HP diphasique, en cas de non arrêt des installations.

Précisons que ces distances correspondent aux distances des effets toxiques sur l'axe du panache... et donc en hauteur. L'histogramme présenté en partie basse de la Figure 5 donne des informations sur les effets observés au sol. On remarque que :

- Les effets létaux commencent à être observés au niveau du sol pour des ruptures de tuyauterie dont le diamètre dépasse 25 - 50 mm selon la hauteur du rejet ;
- Les effets irréversibles sont quasiment toujours observés au niveau du sol et ce, quelque soit le diamètre de la tuyauterie concernée par le scénario accidentel.

³ Dans toutes les simulations, le paramètre de rugosité a été fixé à 0,1 ce qui correspond à une longueur de rugosité d'environ 18 cm.

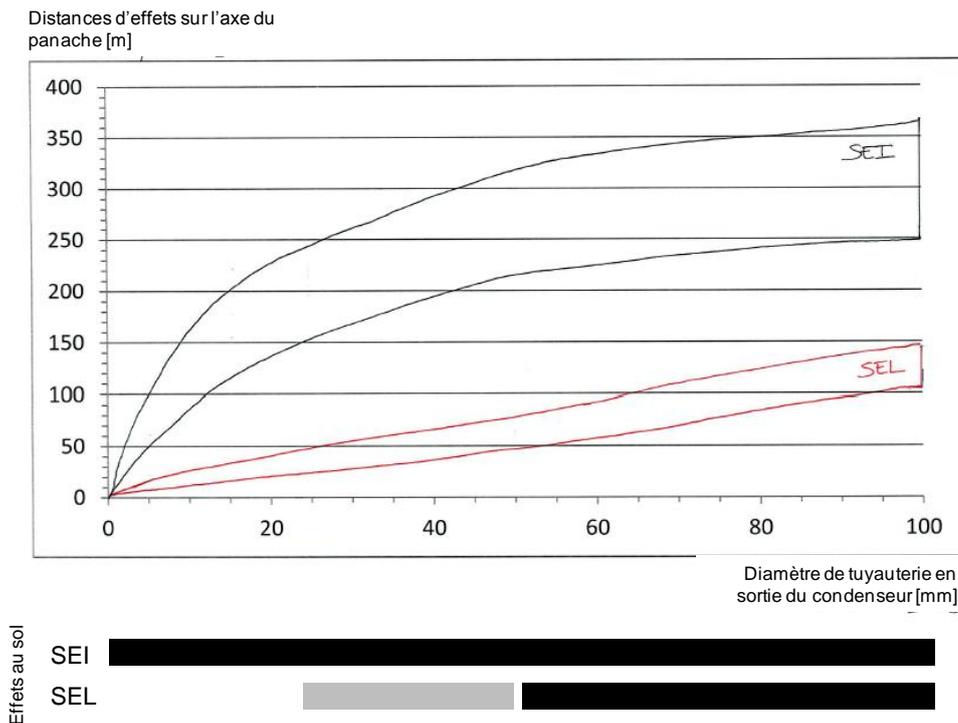


Figure 5 : Ordres de grandeur des distances d'effets
- Rupture en sortie du condenseur situé en toiture -

	<p>Lecture de l'abaque :</p> <p>« Une rupture de tuyauterie de diamètre 40 mm se traduit, dans l'axe du panache, par une distance des effets irréversibles (SEI) de l'ordre de 200 – 300 m et par une distance des effets létaux (SEL) de 40 – 60 m. Au sol, des effets irréversibles sont observés mais pas nécessairement des effets létaux »</p>
---	--

3.3 RUPTURE SUR CIRCUIT BP PARTANT VERS UTILISATEUR (CAS DES TUYAUTERIES BP A L'EXTERIEUR DES LOCAUX)

Ce paragraphe s'intéresse au scénario de rupture de tuyauterie survenant sur le circuit BP à l'extérieur des locaux et en aval de la pompe. La phénoménologie associée à ce scénario est exactement la même que celle décrite dans le §1.2. Cela se traduit par la formation d'une flaque au sol et par la dérive d'un nuage toxique ayant un comportement de gaz lourd. Les Figure 6 et Figure 7 permettent d'estimer l'ordre de grandeur des distances d'effets toxiques. La distance des effets irréversibles (SEI) ou premiers effets létaux (SEL) est ici exprimée en fonction du débit de fuite d'ammoniac liquide (cf. §2.3.2 pour l'estimation du débit de fuite) et de la durée de fuite.

Ces abaques reposent sur les hypothèses suivantes ;

- Le diamètre de la tuyauterie est d'environ 50 mm.
- le rejet est horizontal et, comme la hauteur de la salle des machines varie entre 5 et 10 m, il s'effectue à une hauteur moyenne de 3 - 4 m,
- la température de l'ammoniac liquide varie entre - 30 et - 15°C (ce qui correspond à une pression de vapeur saturante variant entre 1 et 2,4 bar abs.),

- le rejet est alimenté uniquement par le côté amont de la brèche, c'est-à-dire par la pompe BP emballée. On ne tient pas compte ici d'une quelconque vidange des équipements utilisant l'ammoniac et situés en aval de la brèche, ni de la vidange en ammoniac liquide du tronçon séparant la brèche de la pompe,
- Il n'y a pas isolement du rejet, ni arrêt des installations,
- La quantité d'ammoniac pouvant être rejetée à l'atmosphère est limitée à 3,5 t, ce qui limite la durée du rejet pour les forts débits de la pompe BP emballée,
- La durée d'exposition est égale à la durée de fuite.

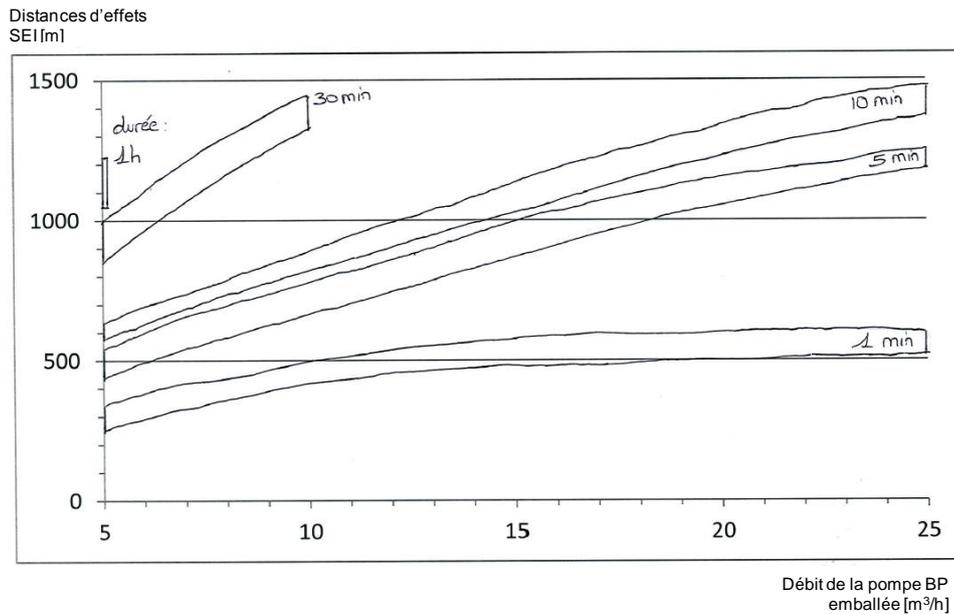


Figure 6 : Ordres de grandeur des distances d'effets SEI
- Rupture sur le circuit BP vers utilisateurs -

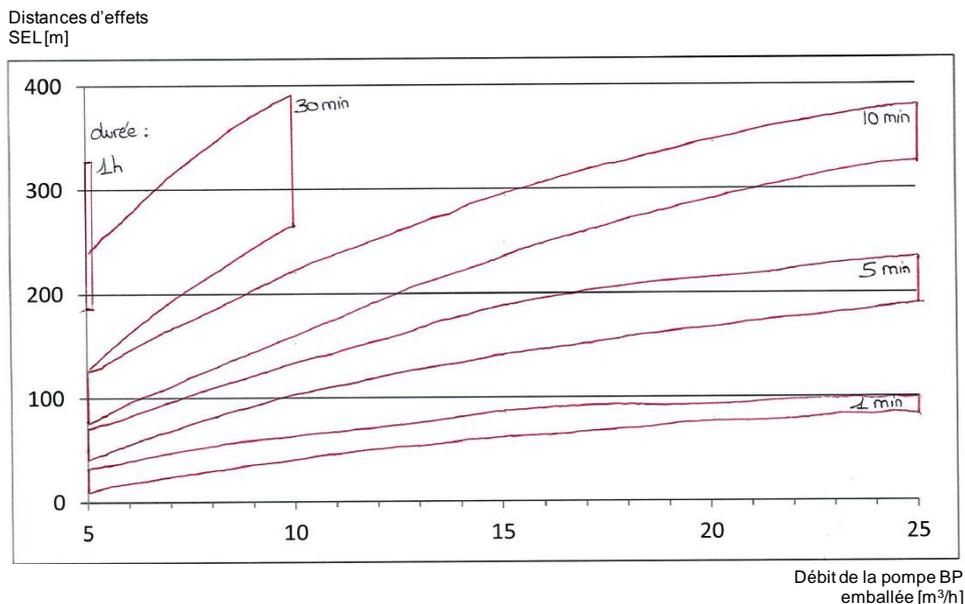


Figure 7 : Ordres de grandeur des distances d'effets SEL
- Rupture sur le circuit BP vers utilisateurs -



Lecture de l'abaque :

« Une rupture franche de tuyauterie survient en aval d'une pompe BP dont le débit nominal de service est de $7,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Au moment de la rupture, cette pompe va s'emballer et, en supposant que le débit de fluide soit multiplié par 2 (cf. §2.3.2), on obtient un débit de fuite de $15 \text{ m}^3/\text{h}$. Si cette fuite dure près de 10 min, les effets irréversibles (SEI) pourront aller jusqu'à une distance de 1000 - 1200 m et les effets létaux (SEL) jusqu'à 250 - 300 m »

3.4 RUPTURE OU FUITE DANS LA SALLE DES MACHINES

Dans le cas d'une rupture ou fuite de tuyauterie ou de capacité de stockage survenant à l'intérieur de la salle des machines, le rejet à l'atmosphère se fera :

- de manière contrôlée via l'extraction du local (= rejet vertical et en hauteur),
- et, si l'extraction n'est pas suffisante par rapport au débit d'ammoniac gazeux produit par la rupture ou la fuite, de manière incontrôlée via les interstices du local (rejet horizontal et au niveau du sol).

Dans le cas où il n'y a pas d'interaction entre les panaches émis par ces deux rejets, il est possible d'étudier la dispersion atmosphérique de chaque rejet pris indépendamment l'un de l'autre et d'afficher les distances des effets toxiques pour le cas le plus pénalisant. Dans le cas où l'interaction est forte entre les deux panaches (cf. Figure 8), la détermination des distances d'effets doit se faire à partir de la dose toxique. Une approche possible consiste à sommer la dose toxique émise par chaque panache en plusieurs points de l'espace.

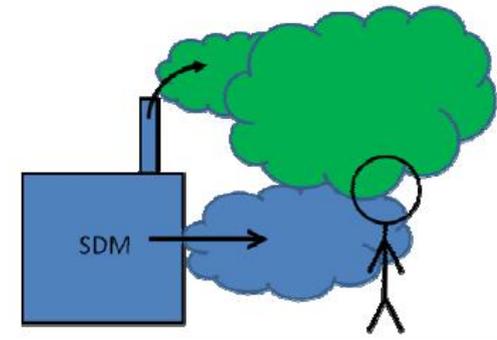


Figure 8 : Illustration d'un individu exposé à une double contribution

Les figures ci-dessous donnent des ordres de grandeur pour les distances d'effets lorsque le panache est émis depuis seulement l'extraction de la SDM⁴. Conformément au texte de la circulaire du 10 mai 2010, ces effets toxiques ont été étudiés pour les 9 conditions météorologiques (A3, B3, B5, C5, C10, D5, D10, E3 et F3). Les distances sont ici exprimées en fonction du débit d'extraction de la salle des machines (de $1\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ à $20\,000 \text{ m}^3/\text{h}$) et de la concentration en ammoniac du rejet à la cheminée (25, 50, 75 et 100 % v/v).

Le choix de l'abaque dépend du temps nécessaire pour purger complètement la salle des machines de toute trace d'ammoniac : il portera sur la Figure 9 si ce temps est supérieur ou égal à 1 heure, sur la Figure 10 s'il faut 30 min et sur la Figure 11 s'il faut 10 min.

⁴ Il faut préciser que ces abaques ne donneront pas nécessairement les distances d'effets les plus prudentes s'il s'avère qu'un autre rejet est possible en dehors de l'extraction du local.

Ces abaques reposent sur les hypothèses suivantes :

- le rejet à l'atmosphère est purement gazeux et se fait verticalement à une hauteur comprise entre 6 et 11 m,
- le diamètre de la gaine d'extraction varie entre 40 et 60 cm,
- la vitesse de l'écoulement ne peut dépasser 10 m/s dans la gaine d'extraction. Si une telle situation est rencontrée, le rejet s'effectue avec une vitesse limitée à 10 m/s et la surface d'émission est alors augmentée en conséquence pour évacuer le débit souhaité,
- la température du rejet est fixée à 15°C,
- tout l'inventaire rejeté à l'intérieur de la salle des machines est évacué par la gaine d'extraction.
- La quantité d'ammoniac pouvant être rejetée à l'atmosphère est limitée à 3,5 t, ce qui limite la durée du rejet et donc la durée d'exposition pour les forts débits d'extraction avec une teneur élevée en ammoniac.

On peut faire les remarques suivantes :

- A la lecture de ces figures, il ne faudrait pas conclure qu'une augmentation du débit d'extraction tend nécessairement à augmenter les distances d'effets toxiques. En effet, pour une fuite donnée dans la salle des machines, une augmentation du débit d'extraction favorise la dilution des vapeurs toxiques et le rejet à la cheminée est dès lors moins concentré en ammoniac. De plus, le temps de vidange du local sera modifié.
- Pour un débit d'extraction donné, les distances d'effets sont d'autant plus élevées que le temps de vidange du local est important et que le rejet à la cheminée est concentré en ammoniac,
- Quelle que soit la durée de vidange du local, on ne s'attend pas à observer des effets létaux au sol. En revanche, des effets irréversibles sont possibles si le rejet est fortement concentré en ammoniac et s'effectue proche du sol.

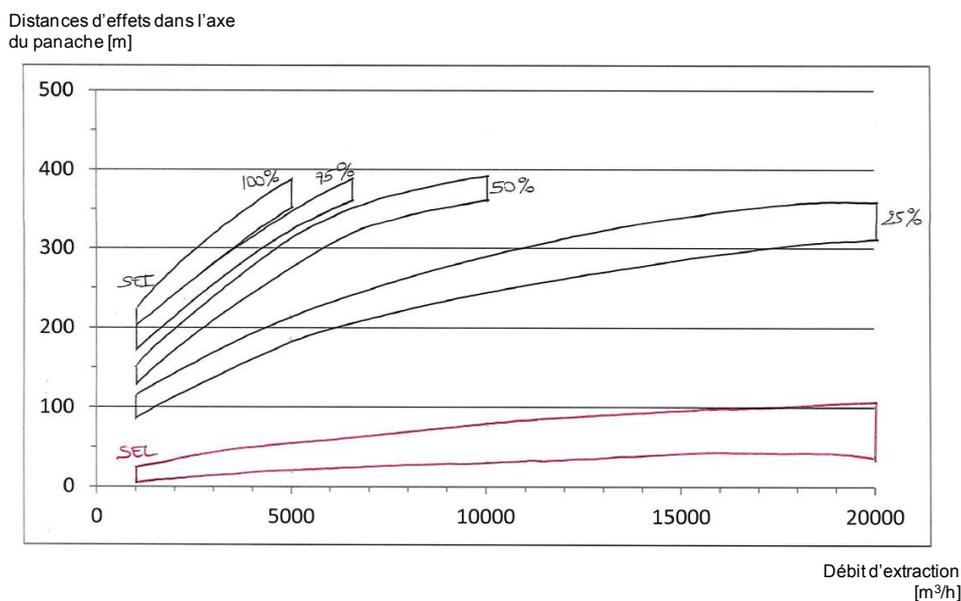


Figure 9 : Ordres de grandeur des distances d'effets
- Rejet à l'extraction de la salle des machines pour une durée de vidange du local de 1 heure -

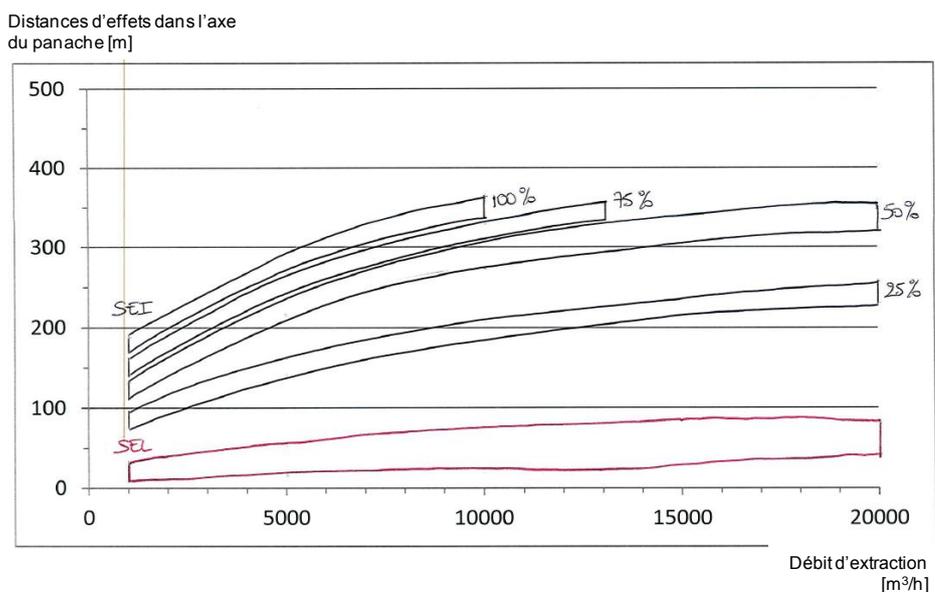


Figure 10 : Ordres de grandeur des distances d'effets
- Rejet à l'extraction de la salle des machines pour une durée de vidange du local de 30 minutes -

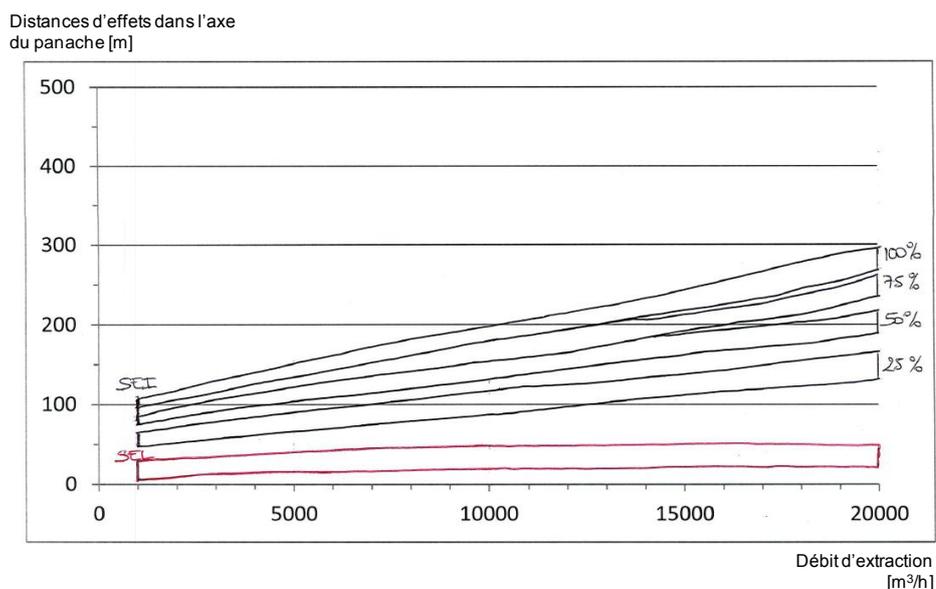
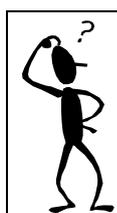


Figure 11 : Ordres de grandeur des distances d'effets
- Rejet à l'extraction de la salle des machines pour une durée de vidange du local de 10 minutes -



Lecture de l'abaque :

« Dans le cas d'une durée de vidange du local (et donc d'une durée d'exposition) de 30 min, une extraction de 15 000 m³/h évacuant de l'ammoniac à la concentration de 50 % v/v génère des effets irréversibles (SEI) jusqu'à 300 - 350 m et des effets létaux (SEL) jusqu'à 20 - 100 m »

3.5 ECLATEMENT DE LA SALLE DES MACHINES

Si le rejet survient dans la salle des machines, la concentration de l'ammoniac dans l'air du local peut atteindre la LIE et former un mélange explosif. Une explosion⁵ est alors possible si ce mélange rencontre une source d'inflammation d'énergie suffisante. Les effets de surpression liés à ce scénario seront d'autant plus importants que la flamme se propage vite à l'intérieur du local. Or, cette vitesse de flamme peut varier de moins de 1 m/s (inflammation dans un mélange parfaitement au repos) à plus de 15 m/s (inflammation proche de la stœchiométrie dans un rejet fortement turbulent).

A ce stade, il convient de rappeler que l'ammoniac est un gaz inflammable moins réactif que la plupart des autres gaz combustibles. De plus, la présence de surfaces de moindre résistance (grilles de ventilation ou de désenfumage) sur la salle des machines peut garantir la tenue mécanique du local contre toute surpression interne trop importante. Dans le cas contraire, il y a un risque d'éclatement du local et des effets de surpression peuvent être observés cette fois-ci à l'extérieur. Des projections de fragments sont aussi possibles.

Le Tableau 8 présente des ordres de grandeur de distances d'effets liés à l'éclatement d'une salle des machines si cette dernière ne résiste pas à la surpression. Ces distances sont données pour deux tailles de salle des machines (500 et 3000 m³) et pour différentes valeurs de surpression maximale (50, 100 et 300 mbar).

Il faut apporter les précisions suivantes :

- la surpression maximale liée à l'explosion est une donnée d'entrée du tableau et n'est pas nécessairement égale à la pression maximale de tenue mécanique de la salle des machines. Elle peut être supérieure. En effet, lors d'une explosion interne, les parois du local ne s'effacent pas instantanément et la surpression peut continuer à augmenter alors même que le local ne tient plus.
- Ces calculs supposent que le mélange inflammable remplit entièrement le volume du local et que la flamme se propage selon sa plus grande dimension.

Surpression maximale de l'explosion [mbar]	Volume de la salle des machines		
	500 m ³	3000 m ³	
< 50	Pas d'éclatement de la salle des machines (effets éventuels confinés à l'intérieur du local)		
50	SEI et SEL non atteints		Eclatement possible
100	SEI = 25 m SEL non atteint	SEI = 45 m SEL non atteint	
300	SEI = 35 m SEL = 20 m	SEI = 65 m SEL = 30 m	

Tableau 8 : Ordres de grandeur des distances d'effets liés à un éclatement de la salle des machines

⁵ Le terme explosion est ici entendu au sens des effets de surpression induits par la propagation de la flamme de combustion dans le mélange inflammable.

ANNEXE 9
Arbres d'événements génériques

Cette annexe présente des arbres d'événements génériques à partir des ERC « fuite d'ammoniac ».

Ces arbres constituent des nœuds-papillons génériques qui doivent être adaptés ensuite à chaque site (équipements présents, localisation à l'intérieur ou à l'extérieur de la salle des machines...).

Les événements directement en amont des ERC ont été représentés ; chaque événement en amont (fuite sur un équipement) est associé à un des arbres des causes présentés en annexe 5. Les équipements identifiés sont ceux potentiellement présents dans une salle des machines. Mais la configuration sur un site donné peut être différente (condenseur en terrasse, évaporateur au niveau des utilisateurs...).

On évaluera le phénomène dangereux à partir du seul événement en amont de l'ERC majorant pour ses effets.

1. ARBRES RELATIFS A LA DISPERSION TOXIQUE

Les arbres correspondent aux ERC suivants :

- fuite liquide HP dans la salle des machines ;
- fuite gaz HP dans la salle des machines ;
- fuite liquide BP dans la salle des machines ;
- fuite gaz BP dans la salle des machines.

Les rejets d'ammoniac peuvent s'effectuer en trois zones :

- extérieur (terrasse ou au sol) ;
- salle des machines ;
- utilisateurs et/ou gaines techniques entre la salle des machines et les utilisateurs.

Les mesures de maîtrise des risques possibles sur la dispersion toxique ont été identifiées sur le nœud-papillon (sous forme de fonction de sécurité). Celles-ci se retrouvent dans les tableaux d'APR présentés en annexe 5 :

- réduction du temps de fuite : détection humaine et/ou détection ammoniac conduisant à l'arrêt de l'installation et/ou à la fermeture de vannes via un système de traitement ;
- réduction des effets : détection humaine et/ou détection ammoniac conduisant à la mise en route de l'extraction forcée via un système de traitement.

Les arbres présentés correspondent à des pertes de confinement dans la salle des machines.

Les arbres associés à des fuites hors de la salle des machines (en extérieur ou au niveau des utilisateurs et/ou des gaines techniques) seront simplifiés dans la mesure où :

- la MMR « réduction des effets par mise en route de l'extraction » n'existe pas (sauf cas particulier éventuel des fuites en combles techniques ventilés) ;
- certains équipements indiqués dans les arbres d'événements en salle des machines ne sont pas implantés à l'extérieur (compresseur...).

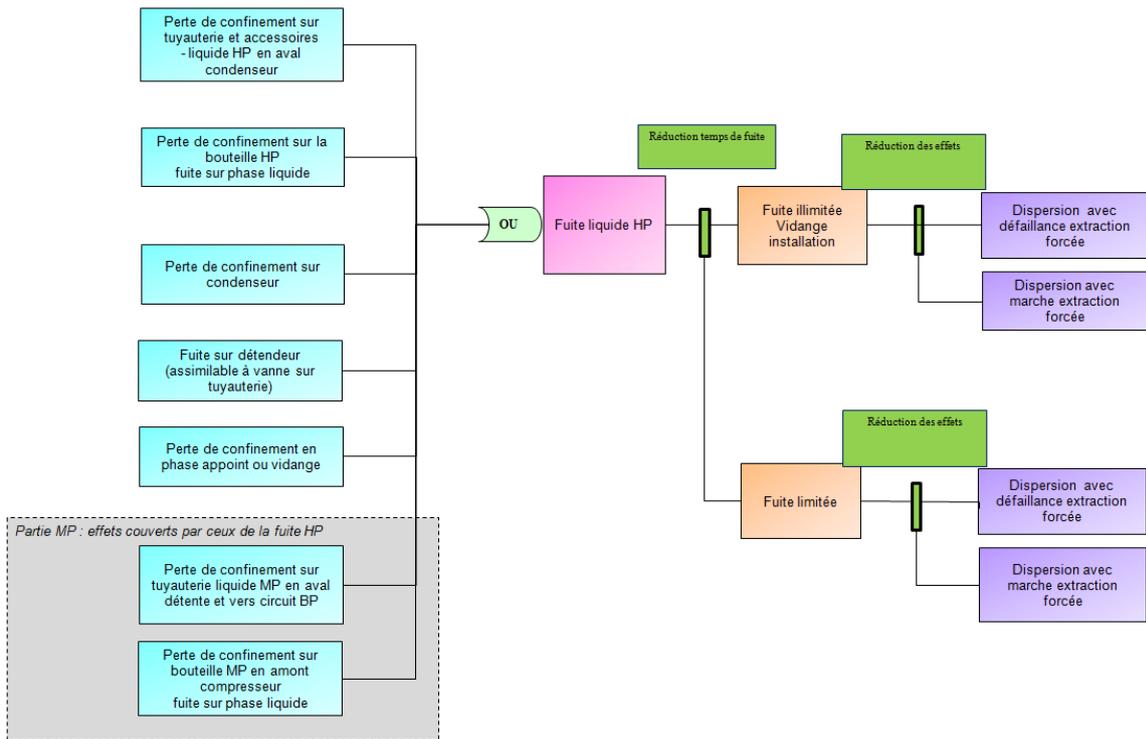


Figure 29 : Arbre d'évènements – fuite liquide HP dans la salle des machines (dispersion toxique)

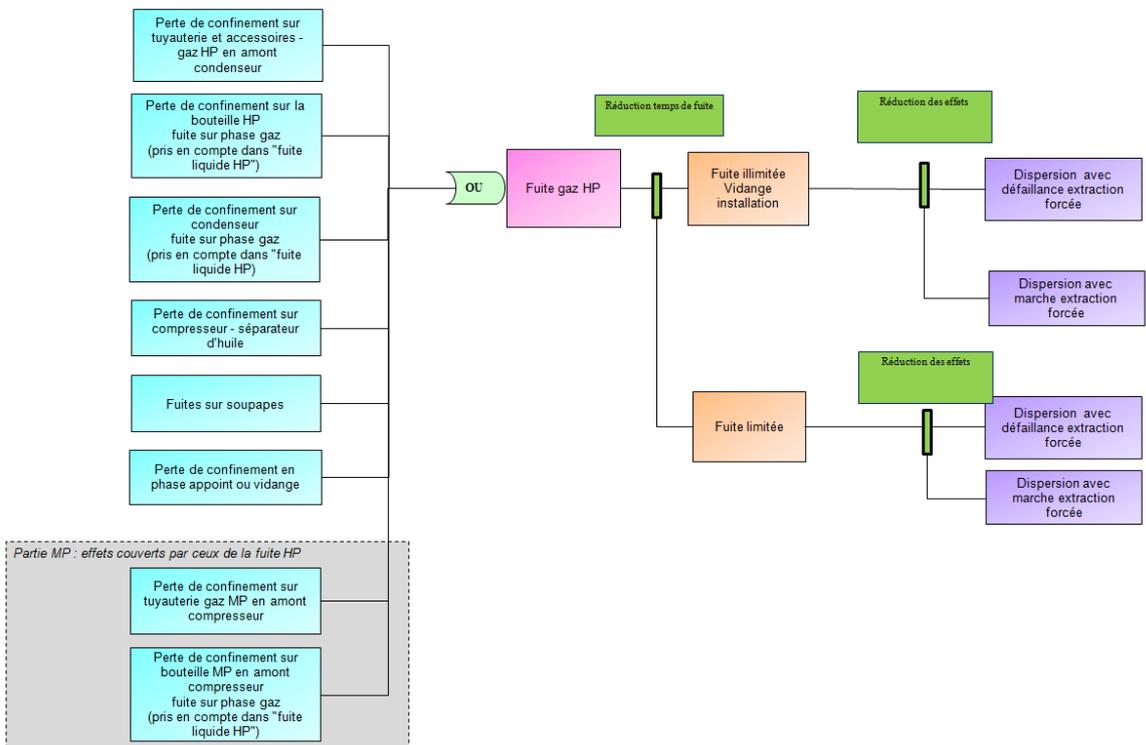


Figure 30 : Arbre d'évènements – fuite gaz HP dans la salle des machines (dispersion toxique)

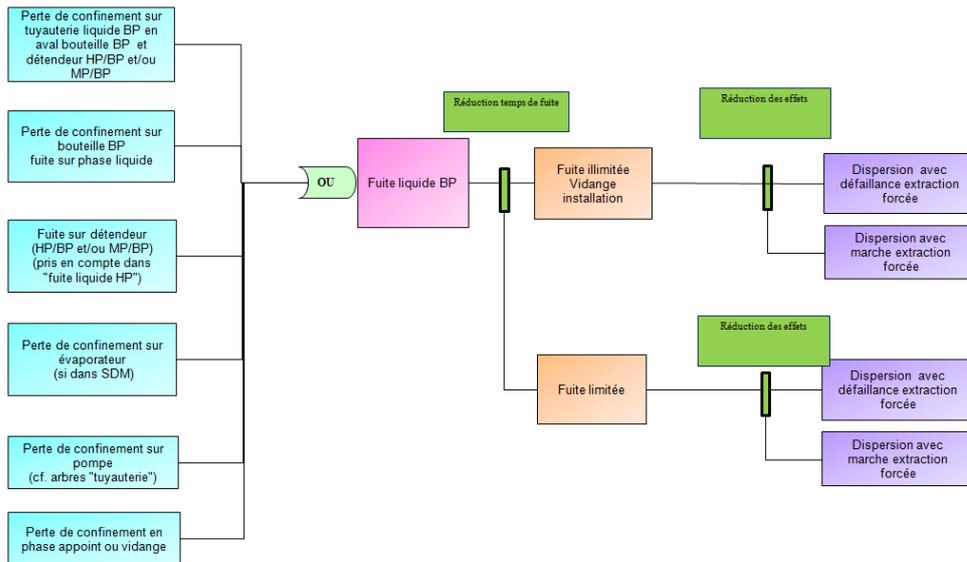


Figure 31 : Arbre d'événements – fuite liquide BP dans la salle des machines (dispersion toxique)

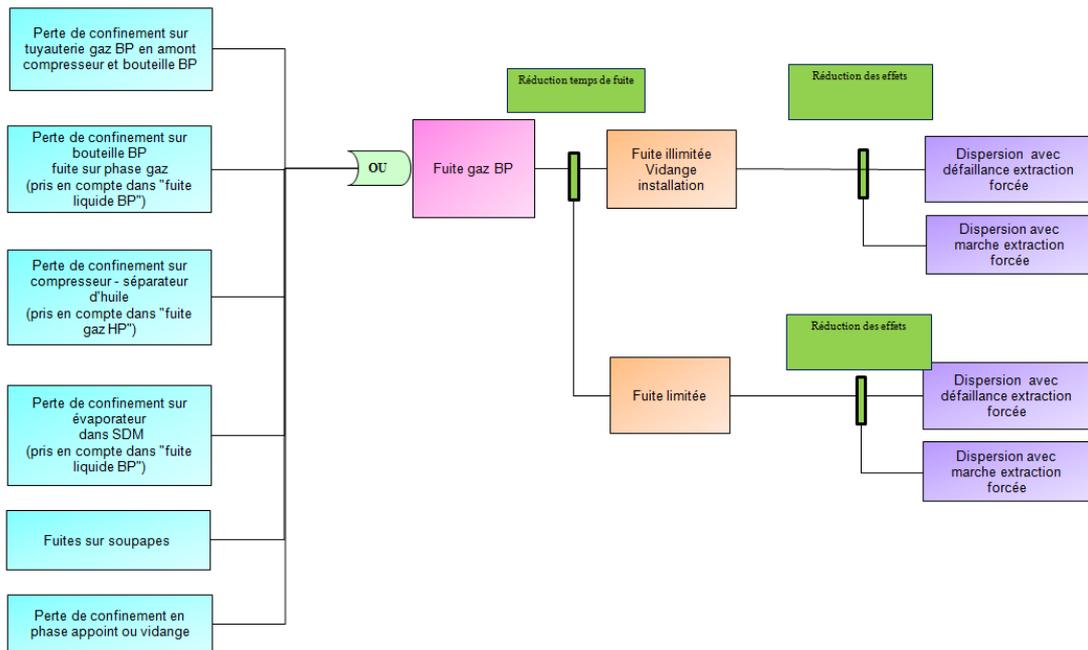


Figure 32 : Arbre d'événements – fuite gaz BP dans la salle des machines (dispersion toxique)

2. EXPLOSION DANS LA SALLE DES MACHINES

Dans la salle des machines ou tout local contenant de l'ammoniac, le scénario d'explosion d'un nuage d'ammoniac ne sera retenu que lorsque les conditions suivantes sont réunies :

- fuite d'ammoniac dans le local ou évaporation d'une flaque de liquide,
- mélange de l'ammoniac avec l'air dans le domaine d'explosibilité,
- présence d'une source d'inflammation suffisamment énergétique.

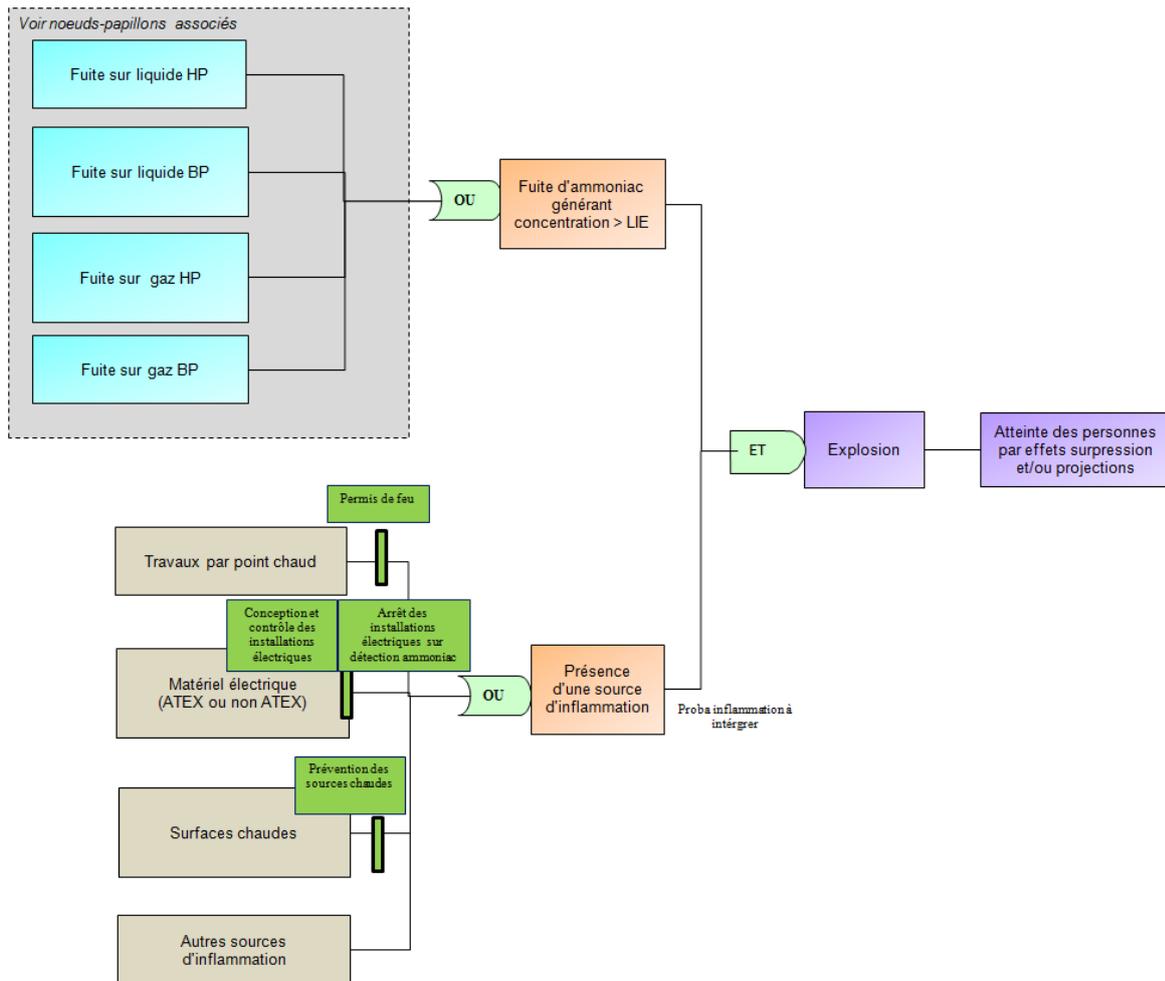


Figure 33 : Arbre d'évènements – explosion dans la salle des machines

ANNEXE 10
Eléments de probabilité

Cette annexe donne des éléments sur la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux. Elle présente des données disponibles dans des sources de données publiques, ces dernières n'étant pas spécifiques aux installations de réfrigération à l'ammoniac.

Les bases de données utilisées sont :

- HSE, FRED (Failure rate equipment data), 2012 [6] ;
- LNE, Handboek Faalfrequenties (Handboek Kanscijfers – AMINAL), 2009 [7] ;
- RIVM, Reference manual BEVI risk assessment, 2009 [8] ; un chapitre spécifique aux réfrigérations ammoniac est en préparation au RIVM. En attendant, il est recommandé d'utiliser les données du rapport ci-dessous [9] ;
- RIVM report n° 620100003/2005 - P.A.M. Uijt de Haag. *Distance table for ammonia cooling plants*, 2005 [9] ; ce document reprend les valeurs du BEVI, en faisant des hypothèses quant aux technologies retenues ;
- ICSI, Résumé des travaux du groupe de travail « fréquence des événements initiateurs d'accidents et disponibilité des barrières de protection et de prévention », juillet 2006 [10] ;
- SINTEF, OREDA (Offshore Reliability Database) [11].

Les données sont présentées par type d'équipements :

- Capacités sous pression
- Echangeurs (condenseurs et évaporateurs)
- Tuyauteries
- Pompes
- Compresseurs volumétriques
- Vannes, joints et brides
- Flexibles
- Soupapes
- Autres

Note : l'indication « / » dans une case d'un tableau signifie que cette catégorie n'est pas spécifiée dans la base en question.

L'utilisation de ces données génériques suppose que l'installation est conçue et maintenue en respectant les règles de l'art. Cependant les mesures spécifiques associées (par exemple une mesure de maîtrise des risques spécifique) ne sont pas identifiables.

1. CAPACITES SOUS PRESSION

	FRED [6]	HB [7]	BEVI [8]	RIVM [9]
Rupture catastrophique	2.10^{-6} à $6.10^{-6}/\text{an}$	$3,2.10^{-7}/\text{an}$	$5.10^{-7}/\text{an}$	$5.10^{-7}/\text{an}$
Rejet en 10 min du contenu	/	$3,2.10^{-7}/\text{an}$	$5.10^{-7}/\text{an}$	$5.10^{-7}/\text{an}$
Brèche strictement supérieure à 50 mm	/	$1,1.10^{-6}/\text{an}$	/	
Brèche entre >10 et 50 mm diamètre	/	$1,1.10^{-6}/\text{an}$	/	
Brèche de 50 mm diamètre	$5.10^{-6}/\text{an}$	/	/	
Brèche de 25 mm diamètre	$5.10^{-6}/\text{an}$	/	/	
Brèche de 13 mm diamètre	$1.10^{-5}/\text{an}$	/	/	
Brèche de 10 mm diamètre	/	/	$1.10^{-5}/\text{an}$	$1.10^{-5}/\text{an}$
Brèche de 0,1 mm à 10 mm diamètre	/	$1,2.10^{-5}/\text{an}$		
Brèche de 5 mm diamètre	$4.10^{-5}/\text{an}$	/	/	

Note [6] :

- valeurs issues de l'industrie du chlore et du GPL. Pour des substances différentes, il est précisé que les valeurs sont des points de départ.
- La rupture catastrophique sera plutôt $2.10^{-6}/\text{an}$ si la capacité suit des normes de construction telles que BS 5500.
- Les effets externes (séisme, effets dominos, impacts par véhicules...) sont pris en compte à hauteur de $1.10^{-6}/\text{an}$.

Note [8] :

- Les valeurs incluent les fuites sur les piquages et 1ères brides.

2. ECHANGEURS (CONDENSEURS / EVAPORATEURS)

2.1 ECHANGEURS TUBULAIRES

	HB [7]	BEVI [8]	RIVM [9]	OREDA [11]
Fuite externe (type aéro)	/	/	/	$3,0.10^{-2}/\text{an}$
Fuite externe (type tubes – calandre, gaz / eau glycolée)	/	/	/	/
Transfert thermique insuffisant (type aéro)	/	/	/	$6,0.10^{-2}/\text{an}$
Lecture anormal d'instruments (type tubes – calandre, gaz / eau glycolée)	/	/	/	$3,9.10^{-2}/\text{an}$
Rupture simultanée de 10 tubes	/	$1.10^{-5}/\text{an}$	/	/
Rupture d'un tube	$7,1.10^{-3}/\text{an}$	$1.10^{-3}/\text{an}$	/	/
Brèche par diamètre équivalent à 10% du diamètre d'un tube	/	$1.10^{-2}/\text{an}$	/	/
Rupture de l'échangeur	$1,3.10^{-5}/\text{an}$	/	/	/
Brèche dans la calandre de diamètre > 50 mm	$1,6.10^{-5}/\text{an}$	/	/	/
Brèche dans la calandre de diamètre > 10 mm et \leq 50 mm	$3,9.10^{-3}/\text{an}$	/	/	/
Brèche dans la calandre de diamètre \leq 25 mm	$6,0.10^{-3}/\text{an}$	/	/	/

Note [7] :

- Il s'agit des valeurs pour des échangeurs tubulaires. Les valeurs sont données pour les fuites sur la calandre externe. Il est précisé que la brèche sur un tube conduira à une fuite dans la calandre mais qu'il faut vérifier la possibilité de brèche de la calandre résultant de la brèche de tubes. Si la brèche est possible, une fréquence de rupture de tubes de $7,1.10^{-3}/\text{an}$ est retenue.
- Pour des échangeurs à plaques, les fréquences dépendent de la pression opératoire :

	Fréquence par échangeur		
	P < 5 bar	5 bar ≤ P < 8 bar	8 bar ≤ P
Petite fuite $0 < d \leq 25 \text{ mm}$ $D_{\text{éq}} = 10 \text{ mm}$	$4,6.10^{-3}/\text{an}$	$7,0.10^{-3}/\text{an}$	$1,8.10^{-2}/\text{an}$
Fuite moyenne $25 < d \leq 50 \text{ mm}$ $D_{\text{éq}} = 35 \text{ mm}$	$2,0.10^{-3}/\text{an}$	$3,0.10^{-3}/\text{an}$	$7,2.10^{-3}/\text{an}$
Rupture	$5,5.10^{-6}/\text{an}$	$8,3.10^{-6}/\text{an}$	$2,0.10^{-5}/\text{an}$

Note [8] :

- Dans tous les cas, les fuites sont supposées se faire à l'atmosphère.
- Les valeurs retenues de fréquence correspondent à des échangeurs tubulaires dans lesquels la substance dangereuse est contenue dans les tubes et pour lesquels la pression design de la partie externe (calandre) est inférieure à celle de la pression côté substance dangereuse. Si la pression design de la partie externe était supérieure, la seule perte de confinement retenue serait celle de la rupture simultanée de 10 tubes avec une fréquence de $1.10^{-6}/\text{an}$ (pour un échangeur avec fluide côté tubes).
- Pour des échangeurs à plaques ou des échangeurs pour lesquels la substance dangereuse se trouve dans la calandre, les fréquences sont les suivantes :
 - ruine instantanée : $5.10^{-5}/\text{an}$;
 - rejet complet en 10 minutes : $5.10^{-5}/\text{an}$;
 - Fuite par brèche de diamètre 10 mm : $1.10^{-3}/\text{an}$.
- Dans le cas où la substance se trouve dans les tubes mais aussi dans la calandre, d'autres données sont fournies dans le BEVI.

Note [9] :

- Le document ne retient pas de valeurs car il est supposé l'absence d'effets à l'extérieur du site, du fait des faibles diamètres des tubes (technologie supposée avec tubes).

Note [11] :

- Pour les défaillances sur les échangeurs de type aéro (avec ventilateur), les valeurs indiquées sont les valeurs moyennes sur la base de la durée de fonctionnement. Le chiffre annuel est évalué en prenant le taux par heure (fourni par OREDA) multiplié par 8760 heures.

2.2 ECHANGEURS A PLAQUES

	HB [7]	BEVI [8]	RIVM [9]
Petite fuite $0 < d \leq 25$ mm - $D_{\text{eq}} = 10$ mm	$4,6 \cdot 10^{-3}/\text{an}$ à $1,8 \cdot 10^{-2}/\text{an}$	$1,0 \cdot 10^{-3}/\text{an}$	/
Fuite moyenne $25 < d \leq 50$ mm - $D_{\text{eq}} = 35$ mm	$2,0 \cdot 10^{-3}/\text{an}$ à $7,2 \cdot 10^{-3}/\text{an}$	/	/
rejet complet en 10 minutes	/	$5 \cdot 10^{-5}/\text{an}$	/
Rupture	$5,5 \cdot 10^{-6}/\text{an}$ à $2,0 \cdot 10^{-5}/\text{an}$	$5 \cdot 10^{-5}/\text{an}$	/

Note [7] :

- Pour des échangeurs à plaques, les fréquences dépendent de la pression opératoire :

	Fréquence par échangeur		
	$P < 5$ bar	$5 \text{ bar} \leq P < 8$ bar	$8 \text{ bar} \leq P$
Petite fuite $0 < d \leq 25$ mm $D_{\text{eq}} = 10$ mm	$4,6 \cdot 10^{-3}/\text{an}$	$7,0 \cdot 10^{-3}/\text{an}$	$1,8 \cdot 10^{-2}/\text{an}$
Fuite moyenne $25 < d \leq 50$ mm $D_{\text{eq}} = 35$ mm	$2,0 \cdot 10^{-3}/\text{an}$	$3,0 \cdot 10^{-3}/\text{an}$	$7,2 \cdot 10^{-3}/\text{an}$
Rupture	$5,5 \cdot 10^{-6}/\text{an}$	$8,3 \cdot 10^{-6}/\text{an}$	$2,0 \cdot 10^{-5}/\text{an}$

Note [9] :

- Le document ne retient pas de valeurs car il est supposé l'absence d'effets à l'extérieur du site, du fait des faibles diamètres des tubes (technologie supposée avec tubes).

3. TUYAUTERIES

Les valeurs de fréquence dépendent des diamètres de tuyauteries. Les seuils des classes sont variables selon les bases étudiées.

Note [6] :

- Spray release : il s'agit d'une fuite sous forme de spray. La fuite est selon la circonférence la tuyauterie avec une épaisseur de 50 μm .

Note [8] :

- Les valeurs incluent les défaillances au niveau des brides, joints et soudures

Note [7] :

- Les fréquences sont fonctions de la longueur (L) et du diamètre (D) (exprimés en mm). Une longueur minimale de 10 m est à considérer. Ces données correspondent à des tuyauteries aériennes.

3.1 D < 50 MM (SEUIL D'UNE CLASSE POUR FRED)

	FRED [6]	HB [7]	BEVI [8]
Rupture guillotine	$1.10^{-6}/m.an$	$2,2.10^{-8}. L/D$	$1.10^{-6}/m.an$
Large brèche (0,36xD)	/	$5,0.10^{-8}. L/D$	/
Brèche diamètre 25 mm	$5.10^{-6}/ m.an$	/	/
Brèche moyenne (0,16xD)	/	$1,2.10^{-7}. L/D$	/
Brèche diamètre 3 mm (DN<150) ou 4 mm (DN>150)	$1.10^{-5}/ m.an$		/
Brèche par diamètre équivalent à 10% du diamètre de la tuyauterie	/	$2,8.10^{-7}. L/D$	$5.10^{-6}/m.an$
Spray release	$1.10^{-6}/m/an$	/	/

3.2 TUYAUTERIES : 50 MM ≤ D < 75 MM

	FRED [6]	HB [7]	BEVI [8]
Rupture guillotine	$5.10^{-7}/m.an$	$2,2.10^{-8}. L/D$	$1.10^{-6}/m.an$
Large brèche (0,36xD)	/	$5,0.10^{-8}. L/D$	/
Brèche diamètre 25 mm	$1.10^{-6}/ m.an$	/	/
Brèche moyenne (0,16xD)	/	$1,2.10^{-7}. L/D$	/
Brèche diamètre 3 mm (DN<150) ou 4 mm (DN>150)	$2.10^{-6}/m.an$		/
Brèche par diamètre équivalent à 10% du diamètre de la tuyauterie	/	$2,8.10^{-7}. L/D$	$5.10^{-6}/m.an$
Spray release	$1.10^{-6}/m/an$	/	/

3.3 TUYAUTERIES : 75 MM ≤ D < 150 MM

	FRED [6]	HB [7]	BEVI [8]	[9]
Rupture guillotine	$5.10^{-7}/m.an$	$2,2.10^{-8}. L/D$	$3.10^{-7}/m.an$	$3.10^{-7}/m.an$
Large brèche (0,36xD)	/	$5,0.10^{-8}. L/D$	/	/
Brèche diamètre 25 mm	$1.10^{-6}/ m.an$	/	/	/
Brèche moyenne (0,16xD)	/	$1,2.10^{-7}. L/D$	/	/
Brèche diamètre 3 mm (DN<150) ou 4 mm (DN>150)	$2.10^{-6}/m.an$		/	/
Brèche par diamètre équivalent à 10% du diamètre de la tuyauterie	/	$2,8.10^{-7}. L/D$	$2.10^{-6}/m.an$	$2.10^{-6}/m.an$
Spray release	$1.10^{-6}/m/an$	/	/	

3.4 TUYAUTERIES : 150 MM = D

	FRED [6]	HB [7]	BEVI [8]
Rupture guillotine	$2.10^{-7}/m.an$	$1,5.10^{-7} /m.an$	$3.10^{-7}/m.an$
Large brèche (0,36xD)	$4.10^{-7}/m.an$	$3,3.10^{-7} /m.an$	/
Brèche diamètre 25 mm	$7.10^{-7} / m.an$	/	/
Brèche moyenne (0,16xD)	/	$8.10^{-7} /m.an$	/
Brèche diamètre 3 mm (DN<150) ou 4 mm (DN>150)	$1.10^{-6}/m.an$		/
Brèche par diamètre équivalent à 10% du diamètre de la tuyauterie	/	$1,9.10^{-6} /m.an$	$2.10^{-6}/m.an$
Spray release	$1.10^{-6}/m/an$	/	/

3.5 TUYAUTERIES : 150 MM < D < 300 MM

	FRED [6]	HB [7] D=150 mm	HB [7] D=300 mm	BEVI [8]
Rupture guillotine	$2.10^{-7}/m.an$	$1,5.10^{-7} /m.an$	$7,3.10^{-8} /m.an$	$1.10^{-7}/m.an$
Large brèche (0,36xD)	$4.10^{-7}/m.an$	$3,3.10^{-7} /m.an$	$1,7.10^{-7} /m.an$	/
Brèche diamètre 25 mm	$7.10^{-7} / m.an$	/	/	/
Brèche moyenne (0,16xD)	/	$8.10^{-7} /m.an$	$4,0.10^{-7} /m.an$	/
Brèche diamètre 3 mm (DN<150) ou 4 mm (DN>150)	$1.10^{-6}/m.an$			/
Brèche par diamètre équivalent à 10% du diamètre de la tuyauterie	/	$1,9.10^{-6} /m.an$	$9,3.10^{-7} /m.an$	$5.10^{-7}/m.an$
Spray release	$1.10^{-6}/m/an$	/		/

3.6 TUYAUTERIES : 300 MM ≤ D < 500 MM

	FRED [6]	HB [7] D=300 mm	BEVI [8]
Rupture guillotine	$7.10^{-8}/m.an$	$7,3.10^{-8} /m.an$	$1.10^{-7}/m.an$
Large brèche (0,36xD)	$2.10^{-7}/m.an$	$1,7.10^{-7} /m.an$	/
Brèche diamètre 25 mm	$5.10^{-7} / m.an$	/	/
Brèche moyenne (0,16xD)	/	$4,0.10^{-7} /m.an$	/
Brèche diamètre 3 mm (DN<150) ou 4 mm (DN>150)	$8.10^{-7}/m.an$		/
Brèche par diamètre équivalent à 10% du diamètre de la tuyauterie	/	$9,3.10^{-7} /m.an$	$5.10^{-7}/m.an$
Spray release	$1.10^{-6}/m/an$		/

4. POMPES

	FRED [6]	HB [7]	BEVI [8]	RIVM [9]	ICSI [10]
Défaillance de pompe (toutes causes)	/	/	/		1 à 10 ⁻¹ /an
Défaillance du casing	3.10 ⁻⁵ /an	/	/		/
Rupture catastrophique	/	/	1.10 ⁻⁴ /an	1.10 ⁻⁵ /an	/
Fuite (10% du diamètre)	/	4,4.10 ⁻³ /an	4,4.10 ⁻³ /an	5.10 ⁻⁵ /an	/
Spray release en cas de pompe simple garniture	500.10 ⁻⁶ /an		/		/
Spray release en cas de pompe double garniture	50.10 ⁻⁶ /an	/	/		/

Note [6] :

- Spray release : il s'agit d'une fuite sous forme de spray. La fuite est selon la circonférence de l'arbre avec une épaisseur de 50 µm.

Note [7] :

- Il s'agit des valeurs relatives aux pompes centrifuges, avec garnitures (« gaskets »). La fuite est de taille $d_{\text{éq}} = 0,1.D_{\text{max}}$.

Note [8] :

- Il s'agit des valeurs relatives aux **pompes centrifuges, avec garnitures**. Pour des pompes sans garnitures (pompes « canned »), les données sont les suivantes :
 - Rupture catastrophique : 1.10⁻⁵/an
 - Fuite (10% du diamètre) : 5.10⁻⁵/an
- La rupture catastrophique peut être évaluée par une rupture guillotine de la tuyauterie d'alimentation.

Note [9] :

- Il s'agit des valeurs relatives aux **pompes centrifuges, sans garnitures** ; ces valeurs sont celles du BEVI pour cette technologie (cf. note [8]).

Note [10] :

- Il s'agit de toutes les défaillances possibles de la pompe, sans nécessairement perte de confinement : « Entre 1/an, toutes causes confondues (perte de la fonction de pompage, sans secours), et 10⁻¹/an ».
- Inclut la rupture des joints dynamiques.

5. COMPRESSEURS VOLUMETRIQUES

	FRED [6]	HB [7]	BEVI [8]	RIVM [9]
Rupture	$1,4 \cdot 10^{-5}/\text{an}$	$1 \cdot 10^{-4}/\text{an}$	$1 \cdot 10^{-4}/\text{an}$	$1 \cdot 10^{-5}/\text{an}$
Fuite	/	$4,4 \cdot 10^{-3}/\text{an}$	$4,4 \cdot 10^{-3}/\text{an}$	$5 \cdot 10^{-5}/\text{an}$
Grosse brèche (75 < diamètre ≤ 110mm)	$1,4 \cdot 10^{-5}/\text{an}$	/	/	/
Petite brèche (25 < diamètre ≤ 75mm)	$3,3 \cdot 10^{-3}/\text{an}$	/	/	/
Petit trou (diamètre ≤ 25 mm)	$8,6 \cdot 10^{-2}/\text{an}$	/	/	/

Notes [6] :

- Les ruptures sont considérées de diamètre > 110 mm ; elles peuvent être assimilées aux diamètres des tuyauteries en entrée. Elles correspondent à des **compresseurs volumétriques**.
- Des données sont également fournies pour des compresseurs centrifuges :
 - Rupture : $2,9 \cdot 10^{-6}/\text{an}$;
 - Grosse brèche : $2,9 \cdot 10^{-6}/\text{an}$;
 - Petite brèche : $2,7 \cdot 10^{-4}/\text{an}$;
 - Petit trou : $1,2 \cdot 10^{-2}/\text{an}$.

Note [7]:

- Il s'agit des valeurs relatives aux compresseurs **volumétriques** (seules données fournies dans la base).

Note [8]:

- Il s'agit des valeurs relatives aux **compresseurs centrifuges**, avec garnitures (« gaskets »). La fuite est de taille $d_{\text{éq}} = 0,1 \cdot D_{\text{max}}$. La rupture guillotine est celle de la tuyauterie d'alimentation.
- La valeur pour les compresseurs centrifuges, avec garnitures, est applicable aussi aux compresseurs **volumétriques**.
- Dans le cas de compresseurs sans garnitures, la fréquence est :
 - Rupture catastrophique : $1 \cdot 10^{-5}/\text{an}$
 - Fuite (10% du diamètre) : $5 \cdot 10^{-5}/\text{an}$

Note [9] :

- Il s'agit des valeurs relatives aux **compresseurs centrifuges sans garnitures** ; ces valeurs sont celles du BEVI pour cette technologie (cf. note [8]).

6. VANNES

	FRED [6]	ICSI [10]
Fonctionnement accidentel	1.10^{-2} /solicitation	10^{-2} à 10^{-3} /an
Défaillance d'une vanne de régulation	/	10^{-1} /an
Spray release	2.10^{-4} /an	/

Note [6]:

- Spray release : il s'agit d'une fuite sous forme de spray. La fuite est selon la circonférence de l'arbre avec une épaisseur de 50 µm.
- Pour le fonctionnement accidentel (échec à la fermeture), une valeur de 1.10^{-2} /solicitation est donnée pour une vanne automatique. Les valeurs sont différentes pour des vannes avec action humaine.

Note [10]:

- La valeur de fonctionnement accidentel correspond au fonctionnement accidentel tel qu'ouverture ou fermeture inopinée d'une vanne « tout ou rien ». Il est précisé que cette valeur est très variable selon la fonction de la vanne dans le contrôle du procédé. Ce sont des fréquences par vanne et par an. Pour une vanne automatique, une valeur de 1.10^{-2} /solicitation est donnée.

7. JOINTS ET BRIDES

	FRED [6]	ICSI [10]
Défaillance d'une bride	5.10^{-6} /joint.an	/
Défaillance d'un joint spiralé	1.10^{-7} /joint.an	10^{-5} à 10^{-7} /joint.an
Spray release	5.10^{-6} /bride.an	/

Note [6]:

- La défaillance de la bride est évaluée en considérant un trou équivalent à l'épaisseur du joint x la distance entre deux boulons.
- Spray release : il s'agit d'une fuite sous forme de spray. La fuite est selon la circonférence de la tuyauterie avec une épaisseur de 50 µm.

Note : dans le BEVI, les fuites de joints / brides sont incluses dans celles des équipements (tuyauteries, réservoirs...)

8. FLEXIBLES

	FRED [6]	HB [7]	BEVI [8]	RIVM [9]
Rupture d'un flexible	$0,2.10^{-6}$ /opération	4.10^{-6} /h	4.10^{-6} /h	/
Fuite diamètre équivalent 10% du diamètre (maxi 50 mm)	/	4.10^{-5} /h	4.10^{-5} /h	/
Fuite d'un diamètre équivalent à 15 mm	$0,4.10^{-6}$ /opération	/	/	/
Fuite d'un diamètre équivalent à 5 mm	6.10^{-6} /opération	/	/	/

Note [6] :

- Les données fournies sont applicables aux transferts depuis des camions et sont donc difficilement applicables aux transferts depuis des bouteilles. Trois niveaux de mesures de sécurité sont proposés conduisant à trois gammes de valeurs. Dans le cas où des inspections et des tests de pression et étanchéité sont réalisés, où un blocage des camions est réalisé (cas implicite des bouteilles), et où des barrières de mitigation existent (isolement automatique du flexible), les valeurs les plus basses de fréquences sont retenues ; ce sont celle du tableau.

Note [7 et 8] :

- Les données fournies sont applicables aux transferts depuis des camions, des wagons ou des bateaux et sont donc difficilement applicables aux transferts depuis des bouteilles.

Note [9] :

- Le document ne retient pas de valeurs, la phase remplissage n'étant pas spécifiquement étudiée.

9. SOUPAPES

Les sources d'informations sont :

- OREDA 97 et l'OREDA 2002 : Les informations sont classées en trois grandes catégories : critique, dégradé, et latent. Les deux dernières, qui n'ont pas conduit réellement à une perte de la fonction de la sécurité, ne sont pas retenues. Elles conduiraient en cas de prise en compte à augmenter les taux de défaillances de manière plus ou moins significative. Une fourchette de valeurs est donnée dans l'OREDA.

	OREDA 2002 – page 770 Taux de défaillance λ			OREDA 2002 – page 770 Exploitation (PFD _{avg} ou F)			
	Val. inf	moyenne	Val. haute		Val. inf	moyenne	Val. haute
Blocage fermé – échec à l'ouverture	0,16	1,68	4,61	PFD _{avg} (8760 h)	7,01E-04	7,36E-03	2,02E-02
Fuite interne – Fuite en position fermée	0,11	1,92	5,62	F sur 8760 h	9,64E-04	1,68E-02	4,92E-02
Ouverture intempestive	0,00	0,38	1,76	F sur 8760 h	0,00E+00	3,33E-03	1,54E-02

Note : les données OREDA 2002 varient selon la taille. Les valeurs indiquées sont des valeurs globales.

- EIREDA : les données ne sont pas adaptées (tailles trop importantes).
- base ICSI :

Soupape de sécurité	Valeurs fournies	
Défaillance de soupape (non ouverture sur sollicitation)	PFD _{avg}	10 ⁻²
		10 ⁻¹ à 10 ⁻³
Ouverture à débit maxi d'une soupape de sécurité	F	1.10 ⁻⁴ /an
Ouverture inopinée d'une soupape (par exemple suite à la rupture du ressort)	F	1.10 ⁻¹ /an à 1.10 ⁻³ /an

Notes :

- La défaillance de soupape (PFD) est évaluée à 10^{-2} mais il est précisé qu'elle peut varier de 10^{-1} à 10^{-3} . Et qu'il n'est pas raisonnable d'adopter une valeur inférieure à 10^{-3} .
 - Le chiffre communiqué pour l'ouverture à débit maxi correspond en fait à une valeur proposé par un industriel sur la base de son retour d'expérience. La sollicitation d'urgence de la soupape par surpression n'est pas incluse. La valeur plus générale donnée par la base est $1.10^{-1}/\text{an}$ à $1.10^{-3}/\text{an}$ pour « l'ouverture inopinée d'une soupape (par exemple suite à la rupture du ressort) ». Il est précisé : « Une soupape est soumise à différents types de défaillance ; une défaillance partielle où la soupape « bat » est relativement fréquente, mais conduit à des conséquences généralement peu graves ».
- base BEVI :

Soupape de sécurité		Valeurs fournies	
Ouverture à débit maxi d'une soupape de sécurité		F	$2.10^{-5}/\text{an}$

10. AUTRES

La base ICSI fournit des fréquences pour les évènements suivants :

	valeurs	commentaires
Défaillance d'un système de régulation	$1.10^{-1}/\text{an}$	On considère généralement que les défaillances de systèmes de régulation sont provoquées dans 15% des cas par la logique, pour 50% par les actionneurs et pour 35% par les capteurs
Perte d'alimentation électrique	de $10^{-1}/\text{an}$ à $10^{-2}/\text{an}$	Fourchette de $10^{-1}/\text{an}$ pour une alimentation non importante pour la sécurité, à $10^{-2}/\text{an}$ pour une fonction importante pour la sécurité.
Défaillance d'un système d'utilité	de 1 à $1.10^{-1}/\text{an}$	Il s'agit par exemple des utilités de type refroidissement par eau, alimentation en azote. Cet événement pourra également apparaître en tant que PFD d'une barrière de protection ; la PFD sera alors de 10^{-1} ou 10^{-2} .
Erreur humaine sur une tâche habituelle	10^{-3} à 10^{-4} par opération	La méthode classique d'évaluation de la fréquence de ce type de défaillance sur une tâche isolable consiste à partir de la PFD pour une activité humaine (conditionné par divers facteurs évoqués ci-dessus), et multiplier par le nombre d'opération par an pour obtenir une fréquence d'occurrence. Valeurs de PFD de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-4} par opération. Autre méthode d'évaluation : s'appuyer sur le principe de « l'unité type », en considérant des fréquences de l'ordre de 1/an pour des travaux routiniers et entre $10^{-1}/\text{an}$ et $10^{-2}/\text{an}$ si mise en œuvre des Bonnes Pratiques de Fabrication.
Erreur humaine sur une action de type procédurale (sur action non répétitive)	10^{-2} par opération	

ANNEXE 11
Fiche d'inspection des détecteurs gaz

Cette annexe présente la fiche d'inspection élaborée par l'INERIS à destination des inspecteurs installations classées chargés de mener l'Action Nationale Détecteurs lancée en 2014 par le MEDDE.

Cette fiche est la 1^{ère} version datée de mai 2014.

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

<u>Société inspectée :</u>	<u>Date :</u>	Page 3 / 22
<u>Thème de la visite :</u> Détecteurs de gaz dans les ICPE	<u>Type de visite d'inspection :</u> Approfondie	<u>Pilote de la visite d'inspection :</u>
	<u>Secteur industriel :</u>	
	<u>Type d'installation :</u>	<u>Autres inspecteurs :</u>
<u>Référentiel :</u>		

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Cette fiche comprend :

- la liste des documents et éléments à demander dans la lettre d'annonce
- la fiche d'inspection par elle-même articulée autour des sujets suivants :
 - ✓ Description du système de détection et de la fonction de sécurité associée
 - ✓ Sujet n°1 : la maîtrise des tests, du calibrage et de la maintenance
 - ✓ Sujet n°2 : la maîtrise du cahier des charges (gamme / temps de réponse) et de la validation
 - ✓ Sujet n°3 : interférent et poison
 - ✓ Sujet n°4 : endormissement / vieillissement / saturation
- un tableau de pointage des documents utilisés

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

<u>Société inspectée :</u>	<u>Date :</u>	Page 4 / 22
----------------------------	---------------	-------------

Documents et éléments à demander dans la lettre d'annonce de l'inspection et à tenir à disposition lors de l'inspection :

- ✓ le cahier des charges (ou documents équivalents servant à définir la commande pour l'installation des détecteurs) ;
- ✓ les notices d'utilisation et de maintenance du fournisseur (installation, test, calibrage, etc.) ;
- ✓ le dossier de validation de l'installation des détecteurs (procès-verbaux de réception, tests initiaux, schéma d'implantation et de câblage, manuel d'utilisation et de maintenance) ;
- ✓ la possibilité de pouvoir contacter si nécessaire le ou les personnes en charge de la conception, l'entretien et la maintenance de ces détecteurs ;
- ✓ les derniers rapports de vérification ;
- ✓ le registre de suivi du capteur (ou fiche de vie).

Un tableau de synthèse de ces documents permettant un pointage en fin d'inspection est proposé à la fin du document.

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 5 / 22
----------------------------	---------------	--------------------

Description des installations ⁷	Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
<p><u>Présentation rapide de la fonction de sécurité à laquelle est associée la détection :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Secteur industriel concerné - Fonction de sécurité concernée avec PhD concerné et rappel de ses effets - Sur site soumis à SGS ? - Si oui, prise en compte par SGS ? 	
<p><u>Présentation du système de détection :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Nombre de détecteurs, ➤ Technologie, ➤ Seuils d'alarmes et de déclenchement, ➤ Stratégie de détection, ➤ Conformité avec l'arrêté préfectoral, ➤ Politique de vérification, ➤ ... 	
<p><u>Atteinte de l'alerte :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Le détecteur a-t-il déjà déclenché l'alerte? ➤ Dans quelles circonstances ? ➤ Est-ce tracé ? ➤ ... 	

⁷ pour lancer la discussion avec l'industriel et ensuite entamer l'inspection sur les aspects vérification / maintenance qui permettront également d'aborder les autres sujets

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 6 / 22
----------------------------	---------------	--------------------

1-MAÎTRISE DES TESTS, DU CALIBRAGE ET DE LA MAINTENANCE

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
<u>Maintenance</u>						
1	Les capteurs font-ils l'objet d'un programme de vérification et de maintenance ?	L'objectif est de savoir si l'exploitant vérifie la performance de ces détecteurs et s'il a les compétences pour vérifier et entretenir les détecteurs ou s'il fait appel à des compétences extérieures (le fournisseur ou autre) et s'il fixe des exigences sur la compétence dans un CdC.				
2	Si oui, comment est-il défini?	Comment ? ➤ Exigence normative ➤ Standard interne (si oui sur quelles bases) ➤ Exigence fournisseur ➤ Retour d'expérience (documents INERIS...) Autre, à préciser (REX, etc.)				
3	La maintenance et la vérification des capteurs est-elle externalisée ?	L'objectif est de savoir si l'industriel a les compétences pour vérifier et entretenir les détecteurs ou s'il fait appel à des compétences extérieures (le fournisseur ou autre).				

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 7 / 22
----------------------------	---------------	--------------------

1-MAÎTRISE DES TESTS, DU CALIBRAGE ET DE LA MAINTENANCE

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
4	Les opérateurs de maintenance ont-ils les compétences nécessaires pour réaliser notamment les opérations de vérification et de calibrage, ou les opérations de maintenance curative ? ⁸	<p>Cette compétence doit comprendre la connaissance :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ des différents principes de fonctionnement des capteurs, ➢ des performances des appareils, ➢ du fonctionnement du système complet, ➢ des limites d'utilisation, ➢ des règles de maintenance essentielles, ➢ de la manipulation des gaz. <p>Lorsque les opérations de vérification et de maintenance sont externalisées, il doit préciser ces exigences sur la compétence dans un contrat et les vérifier.</p> <p>La vérification des compétences peut être faite sur la base de formation avec qualification ou non.</p>				

⁸ Cette question permet de faire le lien avec la problématique CdC. En particulier, la définition d'exigences sur la compétence dans un contrat lorsque les opérations de vérification et de maintenance sont externalisées.

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 8 / 22
----------------------------	---------------	--------------------

1-MAÎTRISE DES TESTS, DU CALIBRAGE ET DE LA MAINTENANCE

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
5	La maintenance et la vérification des détecteurs est-elle gérée?	Cette gestion (via par exemple une GMAO, SGS, etc.) doit traiter les aspects : <ul style="list-style-type: none"> ➤ procédures, ➤ ressources techniques (moyens et outils adaptés et étalonnés), ➤ pièces de rechanges (cellule, détecteur, ...), ➤ traçabilité des vérifications et des tests réalisés, ➤ enregistrements des résultats, ➤ vérifications ou évaluations ➤ ... 				
6	La maintenance intègre-t-elle : <ul style="list-style-type: none"> ➤ la gestion des modifications des détecteurs ? 	Les points suivant peuvent être vérifiés : <ul style="list-style-type: none"> • réalisation d'une analyse d'impact, • qui autorise les modifications ? est-ce tracé ?				
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ la gestion de la continuité de la fonction de sécurité ? 	Par exemple avec la mise en place d'un moyen compensatoire.				

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 9 / 22
----------------------------	---------------	--------------------

1-MAÎTRISE DES TESTS, DU CALIBRAGE ET DE LA MAINTENANCE

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
6	➤ une exploitation du REX concernant les détecteurs ?	Les fausses alarmes, les défaillances et les dérives doivent être enregistrées et analysées pour améliorer la détection de gaz (optimisation du maillage, optimisation de la fréquence des tests, définition de la fiabilité, ...).				

Tests et calibrage

7	Lors des opérations de vérification une inspection visuelle pour s'assurer de l'intégrité physique du détecteur est-elle réalisée ?	L'intégrité physique du détecteur est à vérifier avant test (opération normalement connue pour un opérateur qualifié)				
---	---	---	--	--	--	--

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 10 / 22
----------------------------	---------------	---------------------

1-MAÎTRISE DES TESTS, DU CALIBRAGE ET DE LA MAINTENANCE

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
8	Lors des opérations de test, y-a-t-il : ➤ vérification et enregistrement de la réponse avant le calibrage ? ⁹	Voir dans rapport de vérification l'enregistrement des déclenchements aux seuils définis à partir d'une bouteille de gaz étalon et des éventuelles dérives (10 % en général). <u>Remarque :</u> La bouteille de gaz étalon doit couvrir tous les seuils de déclenchement des alarmes Si c'est un gaz de substitution, demander comment l'exploitant s'assure de la correspondance entre le gaz à détecter et celui de substitution (prise en compte d'un facteur de conversion).				
	➤ vérification et enregistrement du temps de réponse avant le calibrage ? ¹⁰	Mesure et enregistrements du temps de réaction du détecteur (voir rapport de vérification)				
	➤ vérification de l'intégrité des transmissions/communication	Vérification sur afficheur du détecteur + en salle de contrôle des informations reportées (alarme, renvoi des valeurs)				

⁹ Cette question permet de faire le lien avec la problématique CdC. En particulier, la définition des seuils et des gammes de mesures.

¹⁰ Cette question permet de faire le lien avec la problématique CdC. En particulier, la définition des temps de réponses et du maillage.

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 11 / 22
----------------------------	---------------	---------------------

1-MAÎTRISE DES TESTS, DU CALIBRAGE ET DE LA MAINTENANCE

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
9	La procédure de tests précise-t-elle :	Après détection d'une dérive, un recalibrage est-il fait ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ comment sont gérées les étapes de tests et de calibrage ? 	En général, réglage du zéro et de la mi-échelle.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ si la vérification de la linéarité de la courbe est réalisée lors du calibrage ? ➤ si ces opérations sont enregistrées ? 	Voir rapport de vérification	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	Y-a-t-il une fréquence de vérification définie ? ¹¹	La fréquence de vérification d'un détecteur de gaz peut varier entre moins d'un mois jusqu'à 1 an. Cette fréquence dépendra avant tout de l'environnement (risque d'interférents, d'endormissement, de saturation, ...).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

¹¹ Cette question permet de faire le lien avec la problématique des interférents, de l'endormissement et de la saturation.

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 12 / 22
----------------------------	---------------	---------------------

1-MAÎTRISE DES TESTS, DU CALIBRAGE ET DE LA MAINTENANCE

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
	Si oui, comment est-elle définie ?	L'objectif est de savoir : <ul style="list-style-type: none"> ➤ d'une part, comment l'industriel a défini cette fréquence de tests (à partir des prescriptions du fournisseur, du REX, ...); ➤ d'autre part, s'il prend en compte les résultats des tests réalisés pour optimiser cette fréquence 				

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 13 / 22
----------------------------	---------------	---------------------

2-MAÎTRISE DU CAHIER DES CHARGES (GAMME / TEMPS DE RÉPONSE) ET DE LA VALIDATION

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
1	<p>Un cahier des charges complet est-il formalisé ou des documents équivalents servant à définir la commande pour l'installation des détecteurs ont-ils été établis ?</p> <p><i>Nota : pour la suite de cette grille, la notion « cahier des charges » intègre ces 2 solutions</i></p>	<p>En particulier, il faut vérifier la définition des informations fondamentales suivantes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gamme de mesure et seuils d'alarmes / déclenchement ; 2. Conditions de l'installation (encombrement, points de fuite et les modélisations associées, ...) ; 3. Les interférents, les sources d'empoisonnement ; 4. Temps de réponse requis pour la détection de gaz. 				
2	Les scénarios de fuites sont-ils précisés dans le cahier des charges ?					
3	Permettent-ils aux fournisseurs de définir une technologie et un maillage adapté?	<p>Vérifier que la définition du nombre de détecteurs et de leur emplacement a été faite en fonction des scénarios de fuites considérés.</p> <p>Les contraintes spatiales (encombrement, obstacles, ...) et les conditions environnementales (vent, circulation de l'air, ...) sont-elles prises en compte?</p>				

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 14 / 22
----------------------------	---------------	---------------------

2-MAÎTRISE DU CAHIER DES CHARGES (GAMME / TEMPS DE RÉPONSE) ET DE LA VALIDATION

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
4	La gamme de mesure est-elle définie? Si oui, préciser comment	Vérifier comment la gamme de mesure a été définie (sur la base des scénarios de fuites considérés ou sur la base des règles de sécurité des travailleurs). Vérifier la cohérence de la gamme de mesure avec les concentrations qu'on cherche à détecter. (voir également la question suivante)				
5	Le ou les seuils d'alarme / déclenchement sont-ils définis ? Si oui, préciser comment Exemple : sur la base de VLEP, EDD, ...	Généralement les seuils d'alarmes sont définis sur la base des effets toxiques pour protéger les travailleurs. En cas de fuites accidentelles, les détecteurs peuvent donc rapidement saturer et se mettre en défaut.				

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 15 / 22
----------------------------	---------------	---------------------

2-MAÎTRISE DU CAHIER DES CHARGES (GAMME / TEMPS DE RÉPONSE) ET DE LA VALIDATION

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
6	<p>Le temps de réponse de la détection est-il spécifié dans le cahier des charges ?</p> <p>Si oui, préciser comment a-t-il été défini?</p> <ul style="list-style-type: none"> - résultats d'une étude de dispersion - retour d'expérience <ul style="list-style-type: none"> - préconisations fournisseurs - autre, à préciser 	<p>Il faut vérifier si le « Temps de réponse » est défini et comment.</p> <p>Temps de réponse = temps que mettra le gaz pour arriver au détecteur + T90 du détecteur.</p> <p>En particulier, vérifier :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ la prise en compte par l'industriel de la différence entre le temps de réponse attendu pour la détection gaz et le T90 annoncé par le fournisseur pour un détecteur ; ➤ la prise en compte du temps que mettra le gaz pour arriver au détecteur. 				
7	<p>L'industriel fait-il une vérification pour valider les détecteurs avant mise en service ?</p>	<p>A la réception des détecteurs puis après leur installation, des vérifications doivent être réalisées par l'industriel afin de s'assurer qu'ils répondent bien à son besoin.</p>				

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 16 / 22
----------------------------	---------------	---------------------

2-MAÎTRISE DU CAHIER DES CHARGES (GAMME / TEMPS DE RÉPONSE) ET DE LA VALIDATION

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
8	L'industriel a-t-il les éléments montrant que cette validation avant mise en service a été réalisée ?	Il faut vérifier qu'il a les éléments justificatifs qui lui permettent de s'assurer que les détecteurs installés répondent à son besoin. Cette vérification peut, par exemple, se dérouler à travers ces 3 étapes de validation : 1. Réception : vérification de la conformité du détecteur au CdC (gamme de mesure, temps de réponse, ...) ; 2. Installation : vérification de l'installation et tests du bon fonctionnement global ; 3. Vérification avant mise en service : étalonnage du détecteur (vérification des seuils d'alarmes et du temps de réponse).				

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 17 / 22
----------------------------	---------------	---------------------

3-INTERFÉRENT ET POISON

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
1	L'industriel a-t-il vérifié la sensibilité du détecteur à des composés (interférents ou poisons) ? Si oui, préciser comment ?	Divers produits dits poisons (solvants et lubrifiants) peuvent contaminer les détecteurs et les endommager provisoirement, voire définitivement. Prise en compte des mises en garde du fabricant (ex : fiches techniques)				
2	Les composés présents sur le site (interférent et poison), en bruit de fond et en accidentel, sont-ils identifiés ? Si oui, préciser comment ?	Vérifier que l'industriel est conscient de ces phénomènes. Voir comment il les gère (identification sur son site, comparaison avec les fiches techniques et échanges avec son fournisseur).				
3	L'industriel a-t-il enregistré de fausses alarmes ?	Les substances dites interférentes peuvent fausser de façon positive (la sensibilité augmente) les détecteurs et déclencher des fausses alarmes.				

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 18 / 22
----------------------------	---------------	---------------------

3-INTERFÉRENT ET POISON

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
4	Comment sont gérées (traitement et analyse) les fausses alarmes ?	Les fausses alarmes doivent conduire l'industriel à revoir, en fonction des causes identifiées, soit : <ul style="list-style-type: none"> ➤ les seuils de déclenchement, ➤ l'architecture de détection, ➤ la vérification de l'étalonnage (vieillesse), ➤ ... 				
5	L'impact des interférents sur le vieillissement des cellules est-il pris en compte (en cas de bruit de fond) ? Si oui, préciser comment	L'industriel doit vérifier régulièrement le bon fonctionnement des détecteurs. Lorsqu'un détecteur a été contaminé par des interférents ou un poison, il peut retrouver son fonctionnement normal après une décontamination suivie d'un étalonnage et d'un nouveau test de fonctionnalité.				

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 19 / 22
----------------------------	---------------	---------------------

4-ENDORMISSEMENT / VIEILLISSEMENT / SATURATION

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
1	Le détecteur fait-il l'objet d'une vérification périodique pour contrôler les phénomènes d'endormissement et de vieillissement ?	- Sensibilisation et/ou régénération pour les cellules électrochimiques - Nettoyage pour les cellules IR, - Prise en compte durée de vie				
2	En cas de saturation, le détecteur fournit-il une information au système de sécurité différente que celle d'un défaut interne ?	Sur saturation, les détecteurs se mettent en défaut et envoi une information défaut à la centrale de détection ou à l'automate (un signal électrique supérieur à 21 mA pour les capteurs analogiques).				
3	Dans le cas où cette information ne permet pas de distinguer la saturation d'un défaut interne, le système prend-il en compte cette situation ?	En fonction de l'architecture retenu, le signal défaut correspondant à une potentielle saturation doit soit déclencher les actions de sécurité, soit déclencher des alarmes défauts : 1oo1 → actions de sécurité 1oo2D → alarmes défauts 2oo3 → alarmes défauts si un seul en défaut et actions de sécurité si 2 en défaut.				

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 20 / 22
----------------------------	---------------	---------------------

4-ENDORMISSEMENT / VIEILLISSEMENT / SATURATION

n°	Questions	Éléments de discussion	Réponse			Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
			Oui	Non	Sans Objet	
4	Y-a-t-il des actions entreprises après un défaut capteur (panne, saturation,...) ? Si oui, lesquelles	Si défaillance de l'électronique : réparation ou généralement changement du détecteur. Il faudra faire une vérification et un étalonnage si nécessaire. Si saturation de la cellule : attendre la récupération du détecteur (de plusieurs minutes à plusieurs heures) et faire une vérification et un étalonnage ou généralement changement de la cellule voire du détecteur et faire une vérification et un étalonnage.				

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 21 / 22
----------------------------	---------------	---------------------

Tableau de pointage des documents

Revue documentaire (Documents à préparer par l'industriel)	Réponse		Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
	Oui	Non	
<p>Contenu des documents de définition des besoins (cahier des charges ou document équivalent) :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Description de la fonction de sécurité ➤ Types de mesure et point de déclenchement (gamme de mesure et seuils de déclenchement) ➤ Conditions environnementales (température, humidité, poussières, vibrations, conditions extrêmes, ...) ➤ Conditions de l'installation (encombrement, points de fuite et les modélisations associées, ...) ➤ Les interférents, les sources d'empoisonnement ➤ Temps de réponse requis pour la détection de gaz 			
<p>Contenu du dossier de validation</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Tests initiaux effectués et leur planification ➤ Procédures de tests et de calibrages ➤ Fiche des résultats des tests (avec référence du détecteur, date de réalisation, nom de la personne qui a fait le test, résultats du test, ...) ➤ Certificat d'étalonnage du matériel utilisé pour réaliser les tests et le calibrage (bouteille de gaz étalon, multimètre, ...) ➤ Procès-verbal de validation et d'autorisation de mise en service du détecteur 			

Fiche d'inspection « Détecteurs de gaz dans les ICPE »

Société inspectée :	Date :	Page 22 / 22
----------------------------	---------------	---------------------

Revue documentaire (Documents à préparer par l'industriel)	Réponse		Explications de l'exploitant et commentaires de l'inspection
	Oui	Non	
Étalonnage / maintenance ➤ Rapports de vérification ➤ Procédures de tests et de calibrages ➤ Registre de suivi des capteurs (ou fiche de vie) ➤ Certificats d'étalonnage (bouteilles de gaz, instruments de contrôle)			



INERIS

*maîtriser le risque
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - Internet : <http://www.ineris.fr>