

Prévention des accidents majeurs liés aux installations frigorifiques

Rapport final



Quelles investigations s'imposent et quand ?

Quel est l'état de la technique de sécurité ?

Comment déterminer correctement l'ampleur
des dommages et les risques ?

Impressum**Mandant**

Office fédéral de l'environnement (OFEV),
Division Prévention des dangers
Section Prévention des accidents majeurs
et mitigation des séismes

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement,
des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC)

Cantons : AG, BE, BS, LU, ZH

Mandataire

EBP Schweiz AG
Zollikerstrasse 65
8702 Zollikon
Téléphone +41 44 395 11 11
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Équipe de projet et auteurs

EBP Schweiz AG
Armin Feurer
Peter Christen
Peter Locher

Walter Wettstein AG Kältetechnik,
représentant de l'Association suisse du froid (ASF) :
N. Heinemann

État : mai 2015

Groupe d'experts**Office fédéral de l'environnement (OFEV)**

Dr. M. Merkofer (direction du projet)

M. Hösli

B. Horisberger

**Amt für Verbraucherschutz des Kantons Aargau,
Chemiesicherheit**

Dr. R. Dumont

**Kantonales Laboratorium Basel-Stadt,
Chemie- und Biosicherheit**

B. Grenacher

beco Berner Wirtschaft

A. Sopranetti

Service de l'environnement Fribourg

A. M. Fasel

**Amt für Umwelt und Energie des Kantons Luzern,
Risikoversorge und Tankanlagen**

D. Burkart

**Amt für Umwelt des Kantons Solothurn,
Abteilung Stoffe**

R. Burren

**Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
des Kantons Zürich (AWEL)**

Dr. J. Hansen

Association suisse du froid (ASF)

R. Dumortier

**SSP Kälteplaner AG,
représentant de l'Association suisse
du froid (ASF)**

B. Schmutz

Swiss TS

F. Knecht

**Schweizerische Gesellschaft
für Kunsteisbahnen (GSK)**

A. Ayer

Avant-propos

L'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM) vise à protéger la population et l'environnement contre des dommages graves qui peuvent résulter d'accidents majeurs survenant lors de l'exploitation d'installations. Une des préoccupations centrales de l'OPAM est l'appréhension des risques potentiels que la manipulation de substances, de préparations ou de déchets spéciaux peut faire courir à la population ou à l'environnement. La haute surveillance de l'exécution de l'OPAM revient à la l'OFEV. À ce titre, l'office observe les développements dans le domaine des risques chimiques, veille à une exécution uniforme de l'OPAM au niveau national et élabore les bases nécessaires à cette harmonisation, en collaboration avec les autorités d'exécution cantonales compétentes, l'industrie et les milieux scientifiques.

L'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim) a interdit, à partir du 1.12.2013, la fabrication et la mise sur le marché d'installations fonctionnant avec des fluides frigorigènes synthétiques et qui dépassent une certaine puissance frigorifique. Cette réglementation a eu pour conséquence un recours accru aux fluides frigorigènes naturels, ammoniac et hydrocarbures (HC), qui sont pertinents du point de vue des accidents majeurs.

Étant donné qu'un nombre important d'installations frigorifiques est déjà soumis à l'OPAM aujourd'hui et qu'il ne manquera pas d'augmenter à l'avenir, l'OFEV a décidé, d'entente avec les services d'exécution mentionnés dans l'impressum et avec l'industrie, d'établir un rapport régissant l'exécution de l'OPAM dans le domaine des installations de froid. Le présent rapport répond en outre au vœu exprimé par les services cantonaux compétents, qui souhaitent une harmonisation de la prévention des accidents majeurs dans ce domaine.

Je tiens à remercier toutes celles et tous ceux qui ont participé à ce travail. J'espère vivement que le présent document contribuera à assurer une évaluation fondée des installations frigorifiques et une protection optimale de la population et de l'environnement.

**Josef Hess, vice-directeur
de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV)**

Table des matières

	Introduction	7
	Objectifs et définition des tâches	7
	Différents fluides frigorigènes	8
	Focalisation	9
	Exécution de l'OPAM pour les installations frigorifiques utilisant de l'ammoniac : déroulement général	9
	1 Types d'installations	12
	1.1 Modes de construction	12
	1.2 Domaines d'utilisation typiques des installations frigorifiques	17
	2 Installations soumises sans atteindre le seuil quantitatif	19
	2.1 Introduction	19
	2.2 Installations n'atteignant pas le seuil quantitatif : pertinentes ou non pour les accidents majeurs ou non ?	20
	2.3 Installations frigorifiques dans des bâtiments accessibles au public	29
	2.4 Patinoires	30
	3 État de la technique de sécurité	32
	3.1 Introduction	32
	3.2 Installations utilisant l'ammoniac comme fluide frigorigène	33
	3.3 Installations utilisant du dioxyde de carbone et des HFC comme fluide frigorigène	39
	3.4 Mettre en œuvre correctement les règles de la technique et l'état de la technique de sécurité	39
	3.5 Mesures de sécurité supplémentaires	40
	4 Rapport succinct : estimer l'ampleur des dommages	42
	4.1 But et ampleur	42
	4.2 Types d'événements à examiner	43
	4.3 Aperçu de la démarche	45
	4.4 Libération d'ammoniac	46
	4.5 Propagation du nuage toxique	56
	4.6 Estimation de l'ampleur des dommages	57



5	Comparaison des systèmes de réfrigération	61
5.1	Quand une telle comparaison est-elle judicieuse ?	61
5.2	Envergure : permettre un aperçu global	62
5.3	Exemple schématique	64
5.4	Interprétation : les adaptations permettent-elles d'atteindre les objectifs visés, sont-elles économiquement supportables et proportionnelles ?	65



6	Étude de risque	66
6.1	But et ampleur	66
6.2	Méthodologie	66
6.3	Types d'événements à examiner	67
6.4	Bases pour la détermination de la fréquence	67
6.5	Quantité libérée ou taux de libération	70
6.6	Propagation du nuage de gaz	71
6.7	Estimation de l'ampleur des dommages	71
	Glossaire	75
	Bibliographie	77

Annexes

A1	Exemples d'accidents	80
A2	Évaluation d'études de risque et de rapports succincts existants	81
A3	Dérivation des critères pour soumettre les installations	84
A4	Protection par les bâtiments	99
A5	Propagation du nuage toxique : hypothèses au niveau du rapport succinct	103

Introduction

Objectifs et définition des tâches

Quelles hypothèses est-il judicieux de poser pour les investigations relatives à l'exécution en matière d'accidents majeurs liés aux installations frigorifiques ? Et quand faut-il soumettre ces installations, même lorsque le seuil quantitatif arrêté dans l'OPAM n'est pas atteint, et quand cela n'est-il pas nécessaire ? Il n'existait pas jusqu'ici de critères applicables dans la pratique pour aider les services cantonaux compétents et les auteurs des rapports correspondants à prendre les décisions dans ce domaine. C'est précisément l'objectif poursuivi par le présent rapport : harmoniser la prévention des accidents majeurs liés aux installations frigorifiques et améliorer la prise de conscience au sein de la branche pour le problème des accidents majeurs. À cet effet, un groupe de travail largement étayé a élaboré des bases sur les sujets suivants :



Chapitre 1 – Types d'installations

Il y a une grande variété dans la construction et l'utilisation des installations frigorifiques. Ce chapitre établit les principales bases à ce sujet : quels sont les types d'installations de froid et dans quels domaines sont-ils utilisés ? En outre, il définit leur importance en rapport avec la prévention des accidents majeurs.



Chapitre 2 – Installations soumises sans atteindre le seuil quantitatif

Une installation produisant du froid avec de l'ammoniac doit-elle être soumise à l'OPAM, bien que le seuil quantitatif ne soit pas dépassé ? Ce chapitre décrit une démarche pragmatique pour procéder à une évaluation nuancée.



Chapitre 3 – État de la technique de sécurité

Les règles de la technique et l'état de la technique de sécurité évoluent en permanence. Ce chapitre résume les points les plus importants pour la prévention des accidents majeurs ; il indique dans quels documents trouver les exigences détaillées relatives aux installations frigorifiques et comment les mettre en œuvre dans les installations, existantes ou nouvelles.



Chapitre 4 – Rapport succinct : estimer l'ampleur des dommages

Au niveau rapport succinct, il s'agit de déterminer l'ampleur maximale que pourraient atteindre les dommages. Ce chapitre explique la démarche à suivre. Des graphiques et des tableaux aident à évaluer cette ampleur correctement, à l'aide de moyens simples. Ainsi, exploitants et concepteurs techniques peuvent généralement procéder à l'évaluation sans soutien extérieur. La documentation sur les hypothèses fondamentales indique également comment traiter, avec le degré de détail requis, les cas spéciaux.



Chapitre 5 – Comparaison des systèmes de réfrigération

Si le danger potentiel émanant d'une installation est important, il convient d'envisager des adaptations de sa conception afin d'en améliorer la sécurité. Pour apprécier la proportionnalité de telles mesures, il est proposé dans ce chapitre de simplement comparer les différentes options entrant en ligne de compte à l'aide d'une série de paramètres. Cette démarche a pour but également d'engager un processus de réflexion sur le risque d'accidents majeurs et la possibilité de le réduire par le biais d'adaptations raisonnables de l'installation.



Chapitre 6 – Étude de risque

Comment procéder à l'établissement d'une étude de risque selon l'OPAM ? Ce chapitre explique la démarche générale; quels événements doivent être pris en compte, où trouver les bases méthodologiques et les données pour calculer l'ampleur et la probabilité d'occurrence, quels sont les aspects qu'il s'agit d'approfondir davantage que dans le rapport succinct ?

Différents fluides frigorigènes

Les installations frigorifiques utilisent différents fluides frigorigènes, qui présentent différents avantages et inconvénients. Les substances les plus fréquemment utilisées sont les suivantes :

Ammoniac

C'est le fluide frigorigène le plus utilisé en Suisse, spécialement dans les grandes installations. On estime que 90 à 95 % des installations industrielles (d'une puissance à partir de 400 kW) recourent à cette substance. Or, du fait de sa toxicité, l'ammoniac présente un danger pour l'homme et pour l'environnement.

Selon une estimation de 2009 du Cadastre fédéral des risques (CARAM), il existe actuellement en Suisse quelque 150 installations frigorifiques qui dépassent le seuil quantitatif défini pour l'ammoniac dans l'OPAM (2000 kg) et environ 10 entreprises soumises selon l'art. 1, al. 3, OPAM. Les installations nouvelles ne contiennent que rarement plus de 2000 kg d'ammoniac.

Suite à l'interdiction, dans l'ORRChim révisée (entrée en vigueur le 1.12.2013, Lit. [2]), des HFC comme fluide frigorigène, il faut s'attendre à un accroissement de l'utilisation de l'ammoniac.

CO₂

Le recours au CO₂ à des fins de réfrigération tend à augmenter. La puissance frigorifique des installations utilisant cette substance se situe le plus souvent entre 5 et 100 kW. Le CO₂ est utilisé en particulier aussi pour la surgélation.

Du point de vue de la protection des travailleurs, il ne constitue pas toujours une alternative appropriée à l'ammoniac. Il peut en effet présenter un danger pour des personnes se trouvant à l'intérieur de bâtiments : à de fortes concentrations, il peut être asphyxiant. Mais comme ce gaz est inodore, les personnes ne prennent pas conscience d'une situation dangereuse. Toutes

les tentatives d'odoriser le CO₂, de façon efficace et à coût raisonnable, ont échoué jusqu'ici.

Propane

En Suisse, peu d'installations frigorifiques recourent à ce gaz comme fluide frigorigène. Les installations sises en Suisse utilisent des quantités de propane ne dépassant pas 30 kg ; elles ne sont par conséquent pas pertinentes en matière de prévention des accidents majeurs. Il n'y a guère de nouvelles installations au propane.

HFC

Il n'y aura pas à l'avenir d'installations aux HFC (hydrofluorocarbures partiellement halogénés) d'une grande puissance, vu que depuis l'entrée en vigueur de l'ORRChim révisée (le 1.12.2013, Lit. [2]), elles ne peuvent être autorisées qu'à titre exceptionnel et pour de faibles puissances.

Focalisation

L'ammoniac est actuellement la substance la plus importante en rapport avec les accidents majeurs, vu le danger potentiel qu'elle présente et le nombre d'installations fonctionnant avec ce fluide frigorigène. C'est pourquoi le présent document est focalisé sur cette substance. Les risques pour l'environnement au sens de l'OPAM (abstraction faite du problème des gaz à effet de serre) sont également liés exclusivement à l'ammoniac. Cependant, les graves dommages à l'environnement ne pouvant en règle générale être causés que par des installations refroidies à l'eau, les risques environnementaux ne sont thématiques qu'en marge.

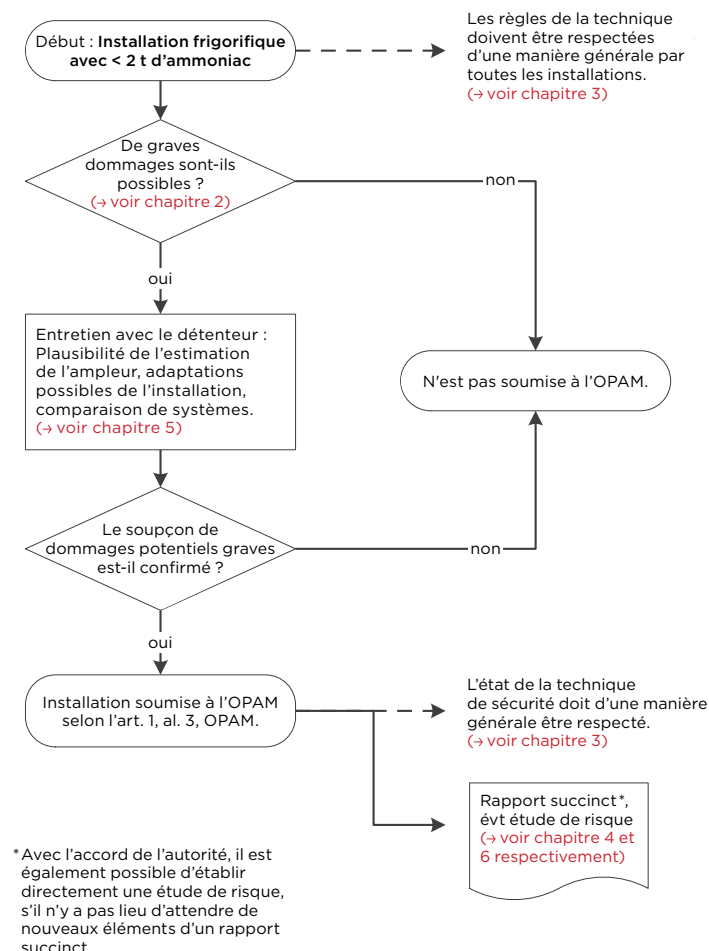
À noter également que la prévention des accidents majeurs ne tient d'une manière générale compte que des personnes qui ne travaillent pas pour l'entreprise considérée, le personnel de l'entreprise relevant de la protection des travailleurs. Si de tierces personnes se trouvant sur l'aire de l'entreprise sont affectées par un accident majeur, elles doivent être prises en compte dans l'estimation de l'ampleur des dommages. Il s'agit par exemple de personnes pratiquant du sport ou de spectateurs dans les patinoires, ou encore de patients dans des hôpitaux climatisés ou chauffés avec des pompes à chaleur. Le présent rapport tient compte de cet élément.

Exécution de l'OPAM pour les installations frigorifiques utilisant de l'ammoniac : déroulement général

Installations utilisant moins de 2 t d'ammoniac

Les installations frigorifiques où la quantité d'ammoniac n'atteint pas 2 t ne sont d'une manière générale pas soumises à l'OPAM. Si l'autorité constate néanmoins qu'une telle installation pourrait gravement endommager les environs en cas d'accident majeur, elle doit la soumettre conformément à l'art. 1, al. 3, OPAM. La figure 1 indique comment l'autorité peut évaluer la nécessité de soumettre une installation.

Figure 1 : Installations utilisant moins de 2 t d'ammoniac : démarche pour la prévention des accidents majeurs.



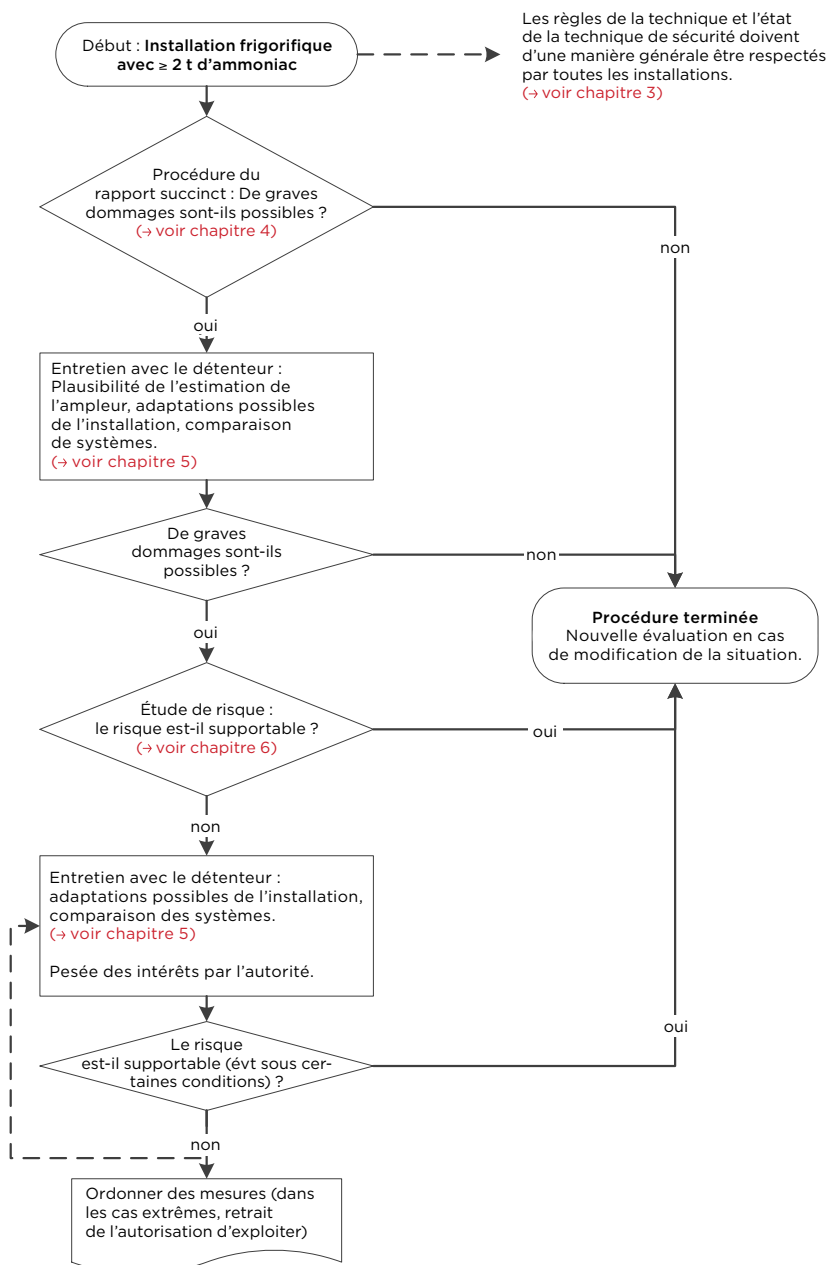
Le modèle simple présenté au chapitre 2 permet d'évaluer si une installation utilisant moins de 2 t d'ammoniac peut provoquer de graves dommages. Si ce risque existe, le détenteur peut, avec l'assentiment de l'autorité, renoncer à l'établissement d'un rapport succinct, s'il est vraisemblable que ce dernier ne produira pas de faits nouveaux. Il peut alors établir directement une étude de risque.

Il est souhaitable que les services chargés de l'exécution mettent au point un processus interne pour l'examen des demandes de construire relatives à des installations utilisant moins de 2 t d'ammoniac afin d'intégrer à un stade précoce la prévention des accidents majeurs dans la planification des installations frigorifiques. Par ailleurs, les exploitants et les concepteurs des installations sont invités à évaluer les projets de nouvelles installations de façon proactive, à l'aide des outils proposés dans la figure 1. Si nécessaire, ils prendront contact avec les autorités d'exécution à un stade précoce pour les questions de prévention des accidents majeurs, ce qui permettra d'éviter les retards dans la mise en œuvre du projet et les charges supplémentaires dans les domaines de la planification et de la construction.

Installations utilisant plus de 2 t d'ammoniac

Lorsque plus de 2 t d'ammoniac sont stockées sur l'aire d'une entreprise, celle-ci est automatiquement soumise à l'OPAM, le seuil quantitatif étant dépassé. La démarche standard est illustrée dans la figure 2.

Figure 2 : Installations utilisant plus de 2 t d'ammoniac : démarche pour la prévention des accidents majeurs.





1 Types d'installations



Il y a des différences non seulement dans le mode de construction des installations frigorifiques, mais également dans leur utilisation. Le présent chapitre décrit les principaux types de circuits, leurs utilisations et leur signification eu égard à la prévention des accidents majeurs.

1.1 Modes de construction

Les principaux types de circuits sont décrits dans les instructions de l'OFEV « Installations contenant des fluides frigorigènes stables dans l'air » (Lit. [7]). Ci-après, nous présentons les différents types de circuits frigorifiques des installations utilisant de l'ammoniac.

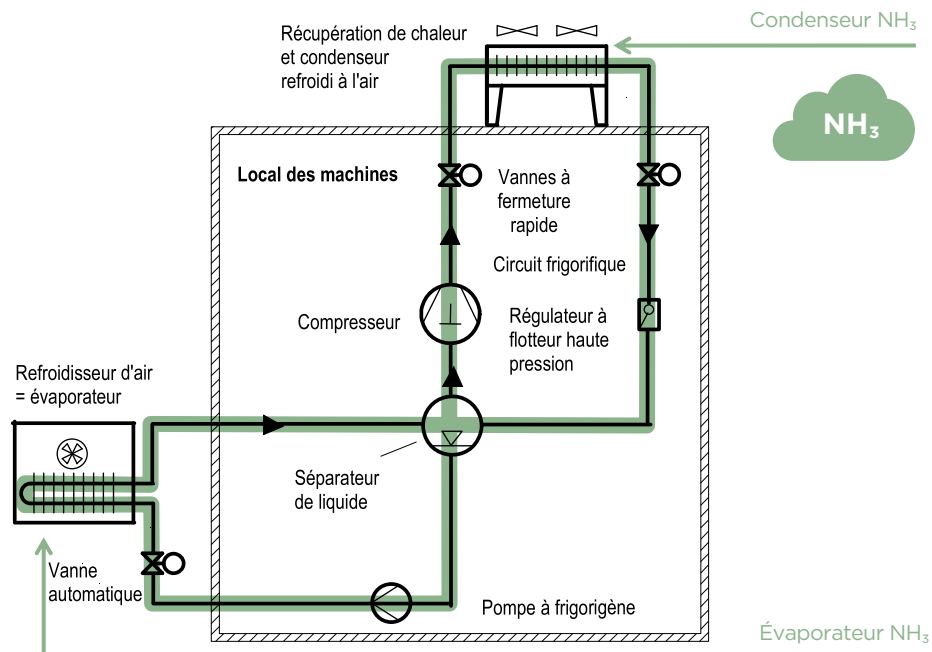
Légende

- Circuit frigorifique (ammoniac)
avec production de froid
- Circuit frigorifique (CO₂)
avec production de froid
- Circuit frigorifique
(p.ex. éthylène glycol/eau/CO₂)
- Circuit caloporteur
(p.ex. éthylène glycol/eau)



Figure 3 : Ensemble du circuit rempli à l'ammoniac. (Type 1)

Type 1
Condensation directe
Évaporation directe



4 : Transfert du froid par un circuit frigoporteur secondaire.
Le refroidissement du circuit d'ammoniac se fait directement avec de l'air. (Type 2)

Type 2
Condensation directe
Fluide frigoporteur

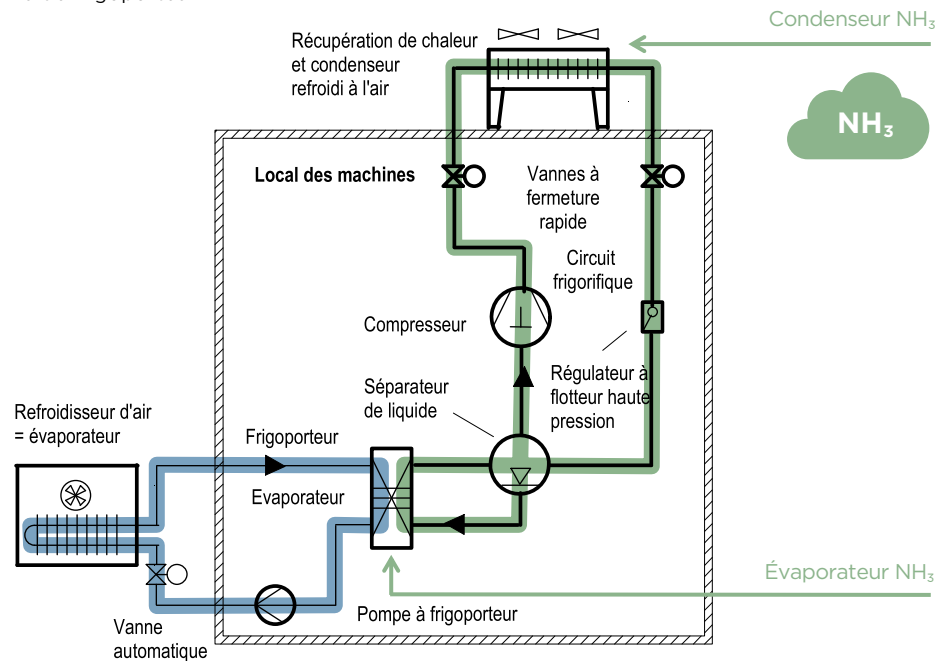




Figure 5 : Transfert du froid directement par le circuit d'ammoniac.
Ce dernier est refroidi par le biais d'un circuit caloporteur secondaire. (Type 3)

Type 3
Caloporteur
Évaporation directe

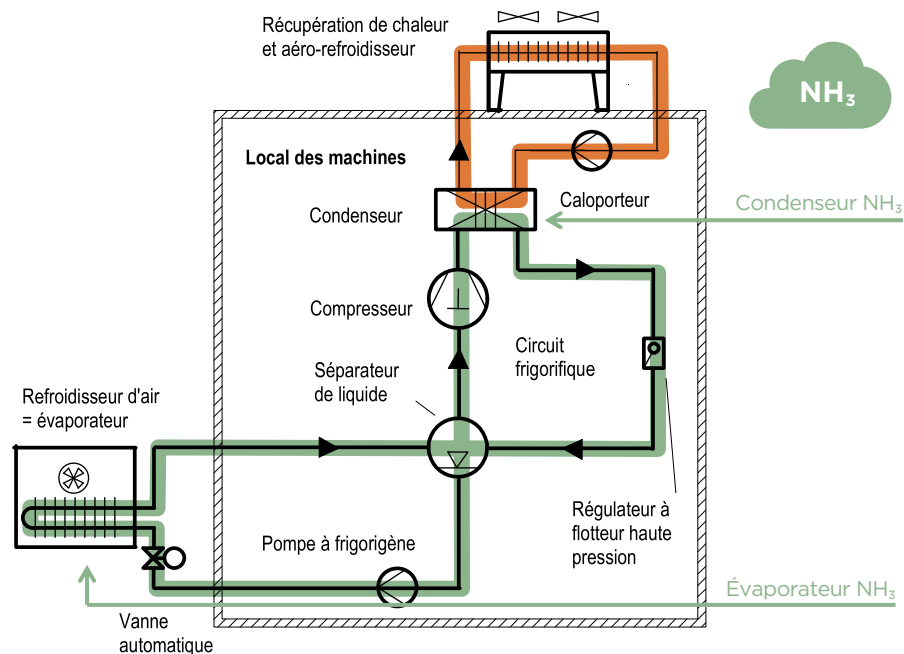


Figure 6 : Seule la machine frigorifique à proprement parler est remplie avec de l'ammoniac.
Le transfert du froid et de la chaleur se fait par le biais d'un circuit secondaire. (Type 4)

Type 4
Caloporteur
Frigoporteur

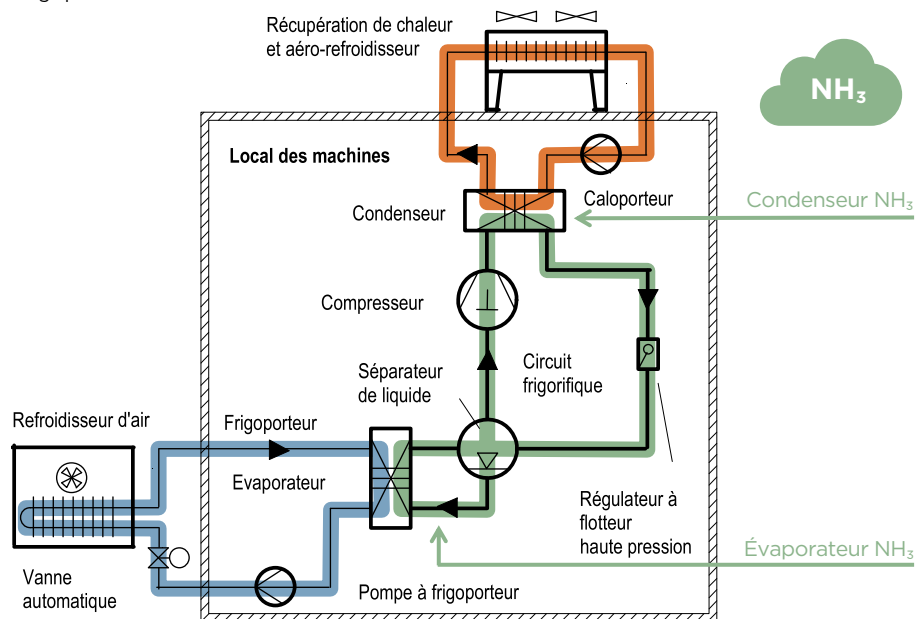




Figure 7 : L'étage inférieur de l'installation utilise le CO₂ comme fluide frigorigène vaporisé. La chaleur produite à cet étage est évacuée à l'aide d'une installation à l'ammoniac. (Type 5)

Type 5

Condensation directe

Condensation directe CO₂

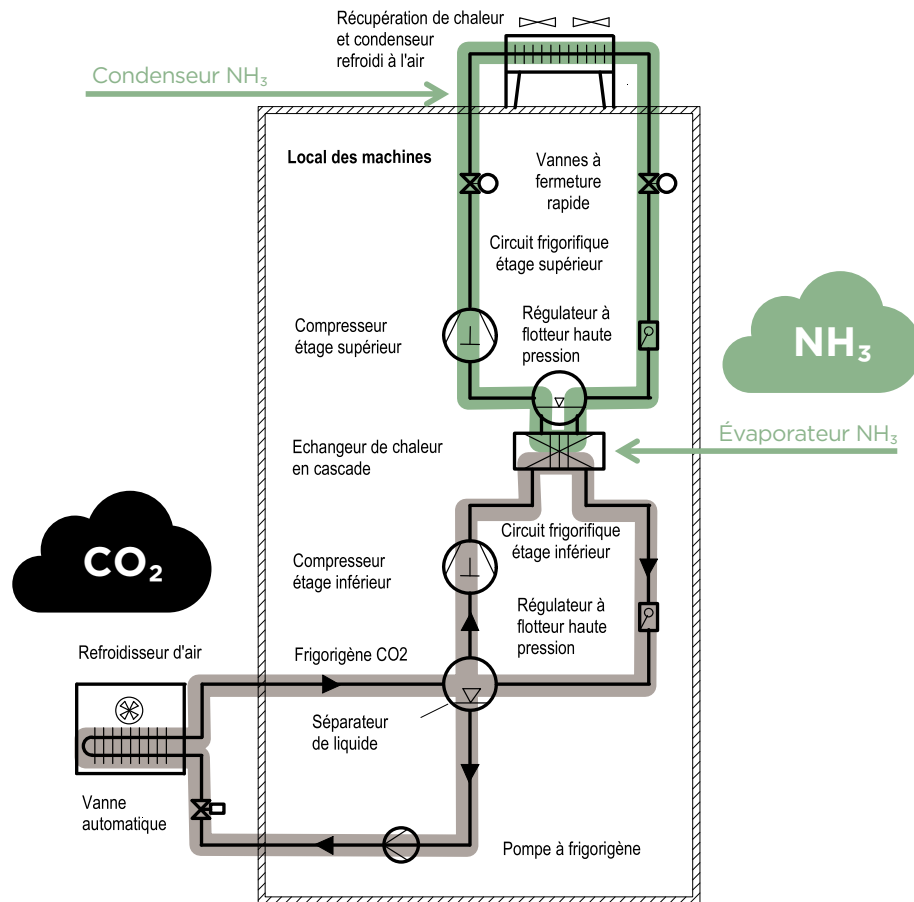


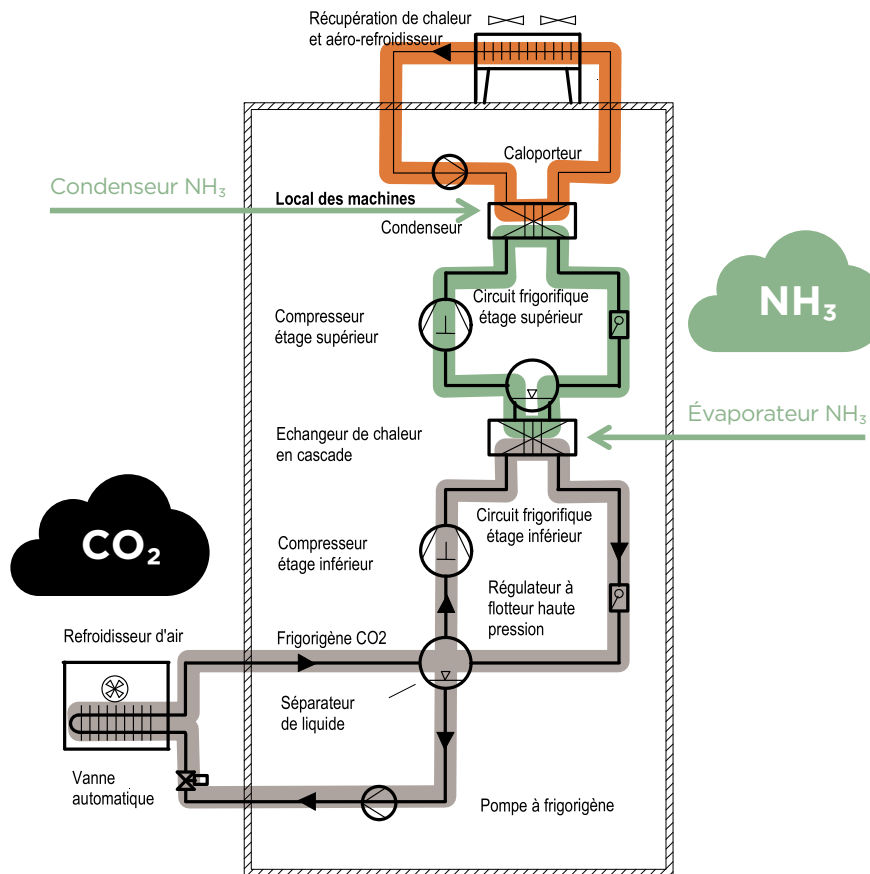


Figure 8 : L'étage inférieur de l'installation utilise le CO₂ comme fluide frigorigène vaporisé. La chaleur produite à cet étage est évacuée à l'aide d'une installation à l'ammoniac. Le transfert de la chaleur se fait à nouveau par le biais d'un circuit caloporteur secondaire. (Type 6)

Type 6

Caloporteur

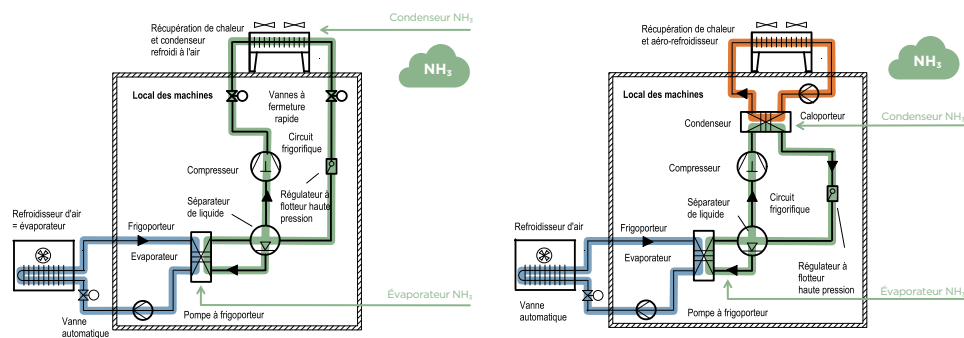
Condensation directe CO₂



Installation frigorifique refroidie à l'air, sise entièrement à l'extérieur : correspond en règle générale au type 2 ou 4 (pas de schéma séparé, voir ceux pour ces deux types).

Type 7

Installation frigorifique refroidie à l'air, sise entièrement à l'extérieur
(pas de représentation schématique)





1.2 Domaines d'utilisation typiques des installations frigorifiques

L'éventail des utilisations est très large. Par souci de cohérence, le présent rapport reprend les domaines d'utilisation répertoriés dans l'ORRChim révisée (entrée en vigueur le 1.12.2013, Lit. [2]).

Installations de climatisation

Ces installations sont utilisées pour climatiser des locaux, par exemple de grands immeubles de bureaux, des centres commerciaux, des centres de calcul, etc. Leur puissance est en général relativement faible. Le mode de construction standard pour ces installations en Europe et en Suisse est le circuit de type 2. Il arrive également que l'on trouve des circuits de type 4. Les types 1 et 3 sont en revanche l'exception.

Installations pour la réfrigération commerciale

Les commerces sont des exploitations qui ont pour clientèle des consommateurs finaux. Dans ce groupe, il y aura ainsi les petites boucheries, les magasins d'alimentation, etc., qui utilisent le plus souvent des installations à évaporation directe (type 1 ou 3). En règle générale, il s'agit d'installations d'une très faible puissance (1 à 200 kW au maximum) et la quantité de fluide frigorigène est en conséquence petite (<1t). Le CO₂ est de plus en plus utilisé dans ces installations.

Installations pour la réfrigération industrielle

Les installations frigorifiques utilisées dans le domaine industriel présentent une palette de puissances très vaste. Elles servent à produire aussi bien du froid positif (supérieur à 0 °C) que du froid négatif (moins de 0 °C). Les domaines d'utilisation typiques sont les grandes boucheries, les centres de distribution de denrées alimentaires, le commerce intermédiaire, etc. Pour le froid positif, ce sont généralement des circuits de type 2, pour le froid négatif, de type 5. La quantité d'ammoniac dans ces circuits peut atteindre 2 t et, dans certains cas, même être supérieure. Le plus souvent, les quantités sont toutefois légèrement inférieures à 2 t.

Patinoires

La puissance frigorifique se situe en règle générale autour de 400 kW pour une patinoire couverte (40 × 60 m). Dans les systèmes indirects utilisant le CO₂ ou un mélange éthylène glycol/eau comme fluide frigorigène et des condenseurs à évaporation (type 2 ou 5), la quantité d'ammoniac se situe entre 300 et 500 kg par patinoire.

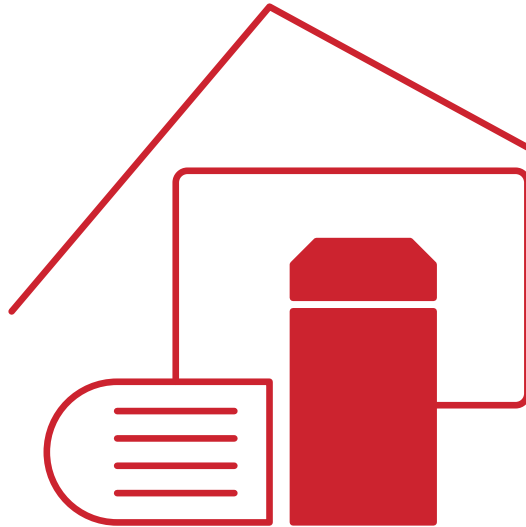


Pompes à chaleur

Seules les grandes pompes à chaleur sont pertinentes en matière de prévention des accidents majeurs, par exemple des installations approvisionnant de grands lotissements. Les pompes à chaleur à l'ammoniac de cette catégorie présentent une puissance calorifique de 500 à 10 000 kW. Elles sont presque exclusivement refroidies à l'eau. Une installation d'une puissance de 500 kW utilise une quantité d'ammoniac située entre 50 et 100 kg ; pour une puissance de 1000 kW, il faut compter 300 à 500 kg. Ces quantités peuvent varier en fonction du type de construction de l'échangeur de chaleur et de l'écart de température. Pour les pompes à chaleur, c'est généralement un circuit de type 4 qui est réalisé, parfois aussi des types 1, 2 ou 3. À noter qu'il existe également des installations combinant les circuits des types 5 et 6.



2 Installations soumises sans atteindre le seuil quantitatif



2.1 Introduction

Selon les seuils quantitatifs en vigueur (Lit. [5]), les entreprises disposant de stocks d'ammoniac totalisant ≥ 2000 kg sont soumises à l'OPAM, même si cette quantité se répartit entre différents domaines de l'entreprise. Si le seuil quantitatif est dépassé, il faut dans tous les cas entamer la procédure ordinaire selon l'OPAM. Lart. 1, al. 3, OPAM stipule que des entreprises utilisant moins de 2000 kg d'ammoniac peuvent être soumises, si, en raison du danger potentiel qu'elles présentent, elles pourraient porter gravement atteinte à la population ou à l'environnement. Or, il n'existe à l'heure actuelle aucun critère qui aiderait les services cantonaux chargés des accidents majeurs à décider, dans la pratique, dans quels cas il est judicieux de soumettre à l'OPAM une installation frigorifique utilisant de faibles quantités d'ammoniac. Le présent rapport vient combler cette lacune. Il décrit les critères d'appréciation, qui devraient satisfaire aux conditions suivantes :

- Ils sont aisés à appliquer dans la pratique, par exemple lors de l'examen d'une demande de construire.
- Il ne faut soumettre que les installations dont les scénarios d'accidents majeurs indiquent qu'ils pourraient entraîner de graves dommages pour la population. Il s'agit de scénarios tels qu'ils sont envisagés au niveau du rapport succinct et qui sont susceptibles



de se produire dans les conditions typiques que l'on peut escompter (p.ex. météo­rologie, exposition de personnes¹⁾).

Une démarche reposant sur des critères d'appréciation simples est proposée ci-après, dans le but d'harmoniser l'exécution dans les différents cantons s'agissant des installations frigorifiques à l'ammoniac n'atteignant pas les seuils quantitatifs et néanmoins soumises à l'OPAM.

2.2 Installations n'atteignant pas le seuil quantitatif : pertinentes ou non pour les accidents majeurs ou non ?

2.2.1 Aperçu de la démarche

La démarche s'articule en trois étapes principales :

Étape 1 : détermination du taux de libération

Des règles simples sont appliquées pour déterminer un scénario réaliste de libération « le plus pessimiste » (worst case) pour l'installation. Le taux de libération, caractéristique primordiale, et la propagation du gaz en découlant dépendent de la quantité d'ammoniac présente ainsi que de la partie de l'installation touchée ou du lieu de l'émission.

Étape 2 : détermination de la zone à risque et du nombre de personnes pouvant s'y trouver.

En partant du taux de libération obtenu à l'étape 1, un tableau permet de déterminer la zone de propagation du nuage toxique. Ensuite, on estime le nombre maximum de personnes pouvant séjourner en plein air dans cette zone.

Étape 3 : décision de soumettre ou non l'installation à l'OPAM

Si le nombre de personnes est supérieur à la valeur limite, des atteintes graves sont possibles dans des conditions réalistes. Dans un tel cas, il est conseillé de soumettre l'installation à l'OPAM.

2.2.2 Données nécessaires

Pour décider de la nécessité de soumettre ou non à l'OPAM une installation frigorifique utilisant de l'ammoniac, les données suivantes sont requises :²⁾

- Quantité totale d'ammoniac dans l'installation
La plus grande quantité reliée est déterminante pour l'évaluation ; des circuits de fluides frigorigènes ou des installations frigorifiques séparés sont considérés séparément.

1 Il faut d'une manière générale éviter que des critères reposant sur des hypothèses trop prudentes ne fassent que des installations soient soumises à l'OPAM alors qu'il n'y a pas lieu d'escompter de graves dommages (niveau rapport succinct) ou que la probabilité de ces derniers est si faible que le risque doit être considéré comme supportable (niveau étude de risque).

2 Si une entreprise dispose de plusieurs installations frigorifiques distinctes, celles-ci doivent être considérées séparément (évt en se limitant aux installations les plus critiques, si elles sont facilement identifiables). L'émission simultanée d'ammoniac de plusieurs installations n'est pas prise en compte à ce stade.



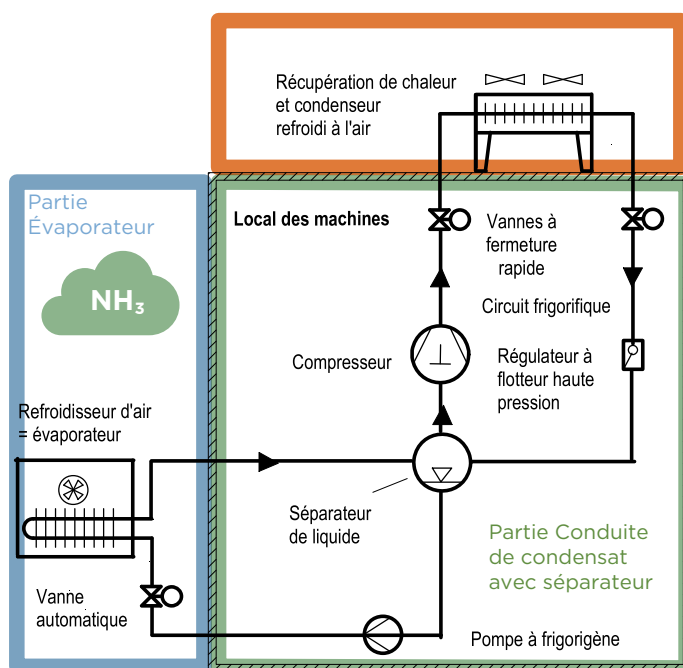
- Mode de construction ou type d'installation (cf. chapitre 1.1)
- Emplacement sur l'aire d'entreprise de l'évaporateur, de la conduite de condensat avec séparateur et condenseur (voir figure 9). Il faut connaître l'endroit, mais il faut également savoir si un élément de l'installation se trouve à l'extérieur, dans un local ayant une paroi donnant sur l'extérieur ou dans un local sans paroi extérieure (voir chapitre 2.2.3 et figure 10.³⁾)
- Emplacement de l'orifice de ventilation, par lequel de l'ammoniac provenant de la salle des machines pourrait parvenir dans l'environnement.
- Nombre des habitants et des places de travail (sans le personnel de l'entreprise exploitant les installations frigorifiques) dans un rayon de 140 m autour de l'installation, éventuelles indications concernant d'autres utilisations (centres commerciaux, écoles, etc.).

2.2.3 Étape 1 : Détermination du taux de libération

Répartition de l'ammoniac dans l'installation

Les circuits d'ammoniac ou les installations entièrement séparés sont évalués à part. Pour chaque circuit d'ammoniac fermé, on distingue trois parties de l'installation d'où pourrait provenir des émissions : évaporateur, conduite de condensat avec séparateur et condenseur. La délimitation entre ces parties de l'installation est schématisée dans la figure 9.

Figure 9 : L'ammoniac peut s'échapper de différentes parties de l'installation.



3 Au cours de la phase de projet d'une installation, l'emplacement prévu peut changer. Dans ce cas, il convient de vérifier si cette modification a une incidence sur le risque potentiel.



Il n'est permis de limiter la quantité émise dans l'environnement à un seul compartiment que si les parties de l'installation concernées peuvent être isolées les unes des autres par des soupapes à fermeture rapide. Si aucun dispositif similaire n'est prévu ou installé, il faut escompter l'émission de la totalité de l'ammoniac présent.

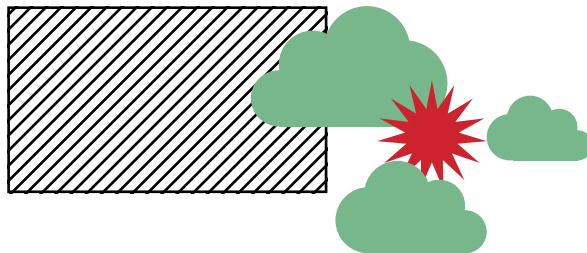
Lieu de libération

Les parties de l'installation représentées dans la figure 9 peuvent être placées à différents endroits dans le bâtiment. Selon l'endroit où se produit la fuite, une partie de l'ammoniac peut être retenue par l'enveloppe du bâtiment. Ce facteur déterminera quelle part de l'ammoniac échappé se propagera sous forme de nuage aux alentours et quelle part restera dans l'installation sous forme de flaque. Pour simplifier, on distingue entre trois endroits d'où partent les émissions :

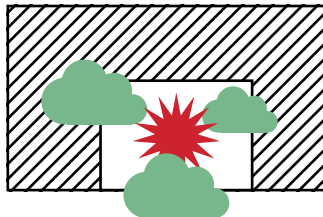
- en plein air
- un local ayant une façade extérieure
(avec des ouvertures donnant directement sur l'extérieur, en particulier portes ou fenêtres).
- un local intérieur
(sans ouvertures donnant directement sur l'extérieur)

Figure 10 : Variation de la quantité d'ammoniac émise dans l'environnement et s'y propageant sous forme de nuage, en fonction de l'endroit où se produit la fuite.

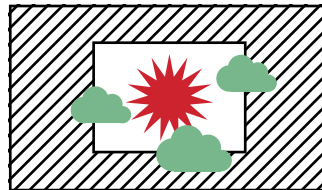
Émission
en plein air



Émission d'un local ayant
une façade extérieure



Émission
d'un local intérieur





L'emplacement de la partie considérée d'une installation peut varier en fonction du type de celle-ci. Pour apprécier la pertinence pour les accidents majeurs, il s'agit par conséquent d'examiner les émissions des trois parties de l'installation, à l'endroit où elles se situent. C'est la partie des émissions qui entraîne le plus d'atteintes pour des personnes qui est déterminante. Il ne s'agira pas forcément de la situation permettant à la plus grande quantité d'ammoniac de s'échapper dans l'environnement. Tout dépend de la répartition des personnes dans le voisinage.

Part d'ammoniac émise

Selon le mode de construction, les installations frigorifiques sont parfois équipées de soupapes à fermeture rapide afin de séparer quand nécessaire certaines parties du circuit contenant le fluide frigorigène. Si un tel dispositif existe, la subdivision peut être prise en compte pour déterminer la quantité maximale d'ammoniac pouvant être émise⁴⁾. La répartition du fluide frigorigène dans l'installation peut varier selon la construction et dépend dans une large mesure du type de l'échangeur de chaleur et de l'écart de température. Les points suivants doivent être considérés pour une éventuelle réduction de la quantité d'ammoniac émise :

- S'il n'y a pas de soupapes à fermeture rapide, il faut partir du principe que la totalité de l'ammoniac contenu dans l'installation sera libérée au lieu d'émission.
- Si l'installation est pourvue de soupapes à fermeture rapide :
 - S'il existe des chiffres spécifiques de l'installation pour la répartition de l'ammoniac entre les trois parties de l'installation devant être examinées, il convient d'en tenir compte. La quantité d'ammoniac émise peut alors être réduite à celle qui est contenue dans la partie considérée de l'installation.
 - Si ces valeurs sont inconnues, elles peuvent être déterminées pour le type d'installation pertinent, à l'aide du tableau 1. Seule la part d'ammoniac contenue dans la partie de l'installation concernée est émise.

4 Au niveau du rapport succinct, les mesures de sécurité actives, par exemple les soupapes à fermeture rapide, ne peuvent pas être prises en compte dans la détermination de l'ampleur maximale des dommages. Lors de l'appréciation en vue de soumettre une installation en vertu de l'art. 1, al. 3, OPAM, il est néanmoins considéré judicieux de prendre en compte de telles soupapes. Cette réglementation a pour but de ne pas soumettre inutilement des installations à l'OPAM. Le modèle d'appréciation repose sur de nombreuses hypothèses, qui assurent une prudence suffisante. Étant donné que l'installation faisant l'objet des investigations n'est pas (encore) soumise à l'OPAM au moment de l'examen, il est admissible d'intégrer, jusqu'à un certain point, des réflexions sur la probabilité.

**Tableau 1 : Variation de la quantité d'ammoniac dans les différentes parties de l'installation en fonction du type**

Attention : la répartition effective de l'ammoniac dans l'installation peut s'écarter considérablement des valeurs du tableau 1, en fonction de la configuration de l'installation.

	K_V Évaporateur	K_A Séparateur et Conduite de condensat	K_K Condenseur
Répartition relative de l'ammoniac			
Type d'installation			
Type 1 : Évaporation directe Condensation directe	0.4	0.2	0.4
Type 2 : Frigoporteur Condensation directe	0.25	0.15	0.6
Type 3 : Évaporation directe Caloporteur	0.6	0.2	0.2
Type 4 : Frigoporteur Caloporteur	0.6	0.1	0.3
Type 5 : Condensation directe Évaporation directe CO ₂	0.25	0.15	0.6
Type 6 : Caloporteur Évaporation directe CO ₂	0.6	0.1	0.3
Type 7 : Installation à frigoporteur refroidie à l'air, installée entièrement en plein			1.0 ⁵

(Ex. : 0,4 correspond à 40 % ; source : estimation d'experts ; indication selon les instructions relatives à l'ORRChim (Lit. [7]))

Part d'ammoniac se propageant sous forme de nuage

Si de l'ammoniac liquide sous pression est libéré, une partie s'évapore immédiatement. L'énergie cinétique du gaz en expansion entraîne une partie du liquide sous forme d'aérosol. Le reste du liquide forme une flaque par terre et ne s'évapore que lentement, la vitesse dépendant de l'apport de chaleur extérieur.

Dans le but de simplifier l'appréciation devant déterminer si une installation n'atteignant pas le seuil quantitatif doit être soumise, seule la propagation avec terme source continu est prise en compte. Il est donc supposé que la totalité du gaz parvenu dans l'environnement (quantité maximale selon la combinaison possible des parties de l'installation et des lieux d'émission) se propage en l'espace de 5 minutes, à un taux constant. La dissémination spontanée de la totalité du contenu d'une partie de l'installation en quelques secondes n'est pas prise en considération pour les raisons suivantes :

- En cas de libération en phase gazeuse, la pression chute rapidement et, avec elle, le taux de libération (selon la quantité émise par unité de temps ou la quantité d'ammoniac passant à l'état gazeux à l'intérieur de l'installation)
- En cas de libération en phase liquide, seule une partie restreinte de l'ammoniac s'évapore spontanément. Le reste forme une flaque, qui ne s'évapore que progressivement. La quantité d'ammoniac qui se propage, par unité de temps en phase gazeuse,

5 En raison du mode de construction compacte, on part du principe, pour ces installations, que c'est toujours la totalité du fluide frigorigène qui est émise, peu importe l'emplacement de la fuite. En conséquence, la répartition de l'ammoniac dans l'installation n'est pas étudiée de plus près.



sous forme de nuage n'est donc pas a priori supérieure lors d'émissions spontanées qu'en cas de libération continue. Selon les informations contenues dans Lit. [6], la part d'ammoniac restant dans la flaque est plus grande lors d'une libération spontanée que d'une émission continue.

- Si les émissions ont lieu à l'intérieur d'un bâtiment, l'enveloppe de celui-ci retarde la propagation des gaz dans l'environnement (ou permet de retenir durablement l'ammoniac grâce à des mesures actives).
- Il faut en outre partir du principe que les libérations spontanées sont nettement plus rares que les émissions continues ; de plus, un tel événement ne peut se produire que dans la salle des machines, en raison de la répartition de l'ammoniac dans l'installation. La propagation à partir de cette salle vers l'extérieur serait alors ralentie, de sorte que les émissions dans l'environnement auraient un caractère continu.

Pour les effets en dehors de l'aire de l'entreprise, c'est la part de l'ammoniac émis arrivant dans l'environnement sous forme de gaz ou d'aérosol qui est déterminante. Cette part dépend de différents facteurs : les plus importants sont la vitesse de libération et la part d'aérosol qui y est liée (gouttelettes emportées par le gaz) ainsi que la situation locale, à savoir les obstacles physiques au contact desquels les gouttelettes de l'aérosol sont précipitées. Il est proposé d'utiliser les valeurs figurant dans le tableau 2 afin de déterminer la part d'ammoniac parvenant dans l'environnement. Les facteurs de correction indiqués reposent sur les données de Lit. [6].

Tableau 2 : Facteurs de correction relatifs à la part d'ammoniac parvenant dans l'environnement (sous forme de gaz et d'aérosol), en fonction de l'endroit de l'émission

Facteurs de correction	Facteur de correction K_{lieu}
Lieu d'émission	
Libération en plein air	1.0
Libération dans un local ayant une paroi extérieure (avec des ouvertures donnant sur l'extérieur)	0.6
Libération dans un local intérieur (sans ouvertures donnant sur l'extérieur)	0.2

**Taux de libération déterminant \dot{m}_{\max}**

Pour le cas le « plus pessimiste », on suppose que la totalité de l'ammoniac est libérée en l'espace de 5 minutes dans la partie de l'installation concernée. En tenant compte de la quantité globale d'ammoniac se trouvant dans l'installation (m_{NH_3}), les taux de libération sont calculés séparément pour les trois parties de l'installation considérées, en tenant compte des facteurs susmentionnés.

Formule du taux de libération

Taux de libération de l'évaporateur

$$\dot{m}_E = m_{\text{NH}_3} \times K_E \times K_{\text{lieu}} \div 300s \quad [\text{kg/s}]$$

Taux de libération du séparateur

$$\dot{m}_S = m_{\text{NH}_3} \times K_S \times K_{\text{lieu}} \div 300s \quad [\text{kg/s}]$$

Taux de libération du condenseur

$$\dot{m}_C = m_{\text{NH}_3} \times K_C \times K_{\text{lieu}} \div 300s \quad [\text{kg/s}]$$

K_E = répartition relative de l'ammoniac dans l'installation/évaporateur

K_S = répartition relative de l'ammoniac dans l'installation/séparateur

K_C = répartition relative de l'ammoniac dans l'installation/condenseur

K_{lieu} = facteur de correction relatif au lieu de l'émission

Pour déterminer le taux de libération déterminant \dot{m}_{\max} la plus grande valeur obtenue est arrondie au chiffre supérieur.⁶⁾

2.2.4 Étape 2 : détermination de la zone à risque et du nombre effectif de personnes pouvant être affectées P_{eff}

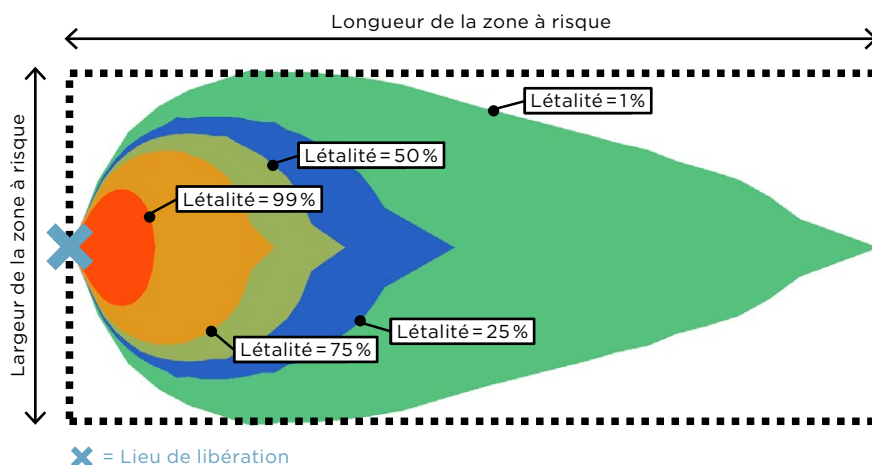
L'expansion spatiale du nuage toxique et donc la zone à risque correspondante peut être calculée à l'aide de modèles physiques (voir figure 11 : surfaces colorées en forme de gouttes⁷⁾). Afin de faciliter l'appréciation, ces zones à risque sont ramenées à une surface rectangulaire équivalant à une létalité moyenne. La figure 11 en est l'illustration.

6 Remarque : dans le cas d'installations occupant un grand espace, il peut arriver que le plus grand danger pour des personnes émane d'une partie de l'installation présentant un taux de libération plus faible qu'une autre, parce que le nombre de personnes séjournant dans la zone à risque correspondante est important. Il convient par conséquent d'analyser la situation concrète pour savoir si la partie de l'installation présentant le taux de libération le plus élevé est bien celle qui peut conduire aux plus grands dommages pour des personnes.

7 La concentration est la plus élevée dans la zone rouge, où le danger pour les personnes est donc le plus important ; elle est la plus faible dans la zone verte.



Figure 11 : Zone de propagation calculée pour le nuage d'ammoniac (surfaces en forme de goutte) et simplification prudente de la zone dans laquelle les personnes courent un risque (zone rectangulaire).



La zone à risque pour différents taux de libération m_{\max} est indiquée dans le tableau 3. La dérivation des valeurs indiquées est documentée dans l'annexe A3.

Tableau 3 : Zone de propagation du nuage toxique selon les calculs avec Effects (Lit. [15]) : Létalité $\geq 1\%$

Zone à risque							
Taux de libération	0.5 kg/s	1 kg/s	2 kg/s	3 kg/s	4 kg/s	5 kg/s	6 kg/s
Longueur [m]	45	48	75	100	120	130	140
Largeur [m]	10	25	35	50	50	60	60

Il faut ensuite estimer le nombre effectif de personnes pouvant séjourner dans l'ensemble de la zone à risque rectangulaire ainsi définie. Pour ce faire, il est recommandé de partir des conditions générales suivantes :

- Prise en compte de la direction critique du vent (approche prudente reposant sur le nombre maximum de personnes pouvant être affectées).
- Le nombre maximum de personnes séjournant dans le périmètre concerné doit être estimé à l'aide des meilleures données disponibles sur la population résidente et les places de travail⁸⁾. Il faut additionner les deux valeurs, à savoir habitants et travailleurs. L'estimation doit être prudente et partir du principe que toutes les personnes sont présentes simultanément.

8 Par exemple, les données du cadastre de l'Office fédéral de la statistique (mises à jour à la fin de chaque année pour la population résidente ; dernier recensement des entreprises pour les places de travail, actuellement 2008).



- On admet d'une manière générale que 10 à 30 %⁹⁾ des habitants et des travailleurs se trouvent à l'extérieur des bâtiments¹⁰⁾. Une fois que le nombre de personnes se trouvant en plein air dans la zone à risque aura été déterminé, il convient dans tous les cas de s'assurer de la plausibilité situationnelle de ce résultat.
- La situation concrète doit être examinée pour déterminer s'il y a d'autres utilisations régulières dans la zone à risque, qui ne sont pas incluses dans les données géoréférencées (p.ex. clientèle de centres commerciaux, écoliers, personnes qui attendent dans des gares, grand nombre de personnes se tenant à l'extérieur sur l'aire de l'entreprise, etc.). Ce faisant, il convient de vérifier si la présence simultanée de toutes ces personnes est plausible.
- Seuls les rassemblements de personnes qui ont lieu au moins une fois par an doivent être pris en compte. En outre, une étude de risque ne doit être exigée que si des atteintes graves sont le fait de situations qui se présentent en moyenne pendant au moins une heure par semaine. Si les événements sont plus rares, il est permis de partir de l'hypothèse que le risque est acceptable.
- Les passagers de voitures ou de trains qui roulent ne doivent pas non plus être inclus¹¹⁾.
- Si une route affectée quotidiennement par des embouteillages se situe dans la zone à risque, les personnes prises dans les bouchons peuvent être comptabilisées. La situation doit être appréciée au cas par cas.

2.2.5 Étape 3 : décision de soumettre l'entreprise à l'OPAM

Pour décider de la nécessité de soumettre une entreprise à l'OPAM en vertu de l'art. 1, al. 3, il faut examiner si une émission d'ammoniac peut entraîner de graves dommages. Le tableau 4 indique à partir de quel nombre de personnes se trouvant en plein air (dans la zone à risque), des atteintes graves doivent être escomptées pour un taux de libération donné et différentes hypothèses prudentes. L'annexe A3 contient des explications sur la dérivation de la valeur limite et des conditions cadres.

9	La part plus importante (30 %) de personnes se trouvant à l'extérieur doit être utilisée pour les bâtiments situés très près du lieu d'émission et qui présentent simultanément un taux élevé de renouvellement d'air ; un exemple typique est un bâtiment industriel difficile à évacuer.
10	On part ici de l'hypothèse que les personnes se trouvant à l'intérieur d'un bâtiment sont bien protégées et ne subissent donc pas d'atteintes. Les critères utilisés pour décider de la nécessité de soumettre une installation ont été appliqués à différentes installations réelles. Cette vérification a montré que la simplification choisie permet d'obtenir des résultats plausibles.
11	Une voiture ou un train qui roule ne se trouve généralement que quelques secondes dans le nuage de gaz. Les fenêtres étant normalement fermées, l'enveloppe du véhicule assure une certaine protection : seule une faible quantité d'ammoniac peut parvenir à l'intérieur, par la ventilation. Il n'est pas possible d'exclure totalement la survenue d'accidents de la route en raison de la forte odeur d'ammoniac. Il est toutefois permis de partir de l'hypothèse que de tels événements jouent un rôle mineur.



Tableau 4 : Zone à risque et valeur limite pour le nombre de personnes s'y trouvant. Si ce nombre est dépassé, des atteintes graves au sens de l'OPAM ne peuvent pas être exclues.

Valeur limite Nombre de personnes	Zone à risque		Valeur limite pour le nombre de personnes P_{ref} dans la zone à risque
Taux de libération [kg/s]	Longueur [m]	Largeur [m]	
6	140	60	35 personnes en plein air
5	130	60	
4	120	50	
3	100	50	
2	75	35	
1	48	25	
0.5	45	10	100 personnes en plein air

Une installation doit être soumise à l'OPAM, si, pour le taux de libération pertinent, selon la combinaison critique entre partie de l'installation et lieu d'émission, on obtient le résultat suivant :

Nombre effectif de personnes concernées P_{eff} > valeur limite pour le nombre de personne P_{ref}

Dans un tel cas de figure, des atteintes graves au sens de l'OPAM ne peuvent pas être exclues.

2.3 Installations frigorifiques dans des bâtiments accessibles au public

Il est permis de partir du principe qu'il n'y a pas lieu d'escompter de graves dommages au sens de l'OPAM qui seraient dus à la propagation de gaz à l'intérieur du bâtiment. Cette affirmation peut être faite, car les personnes se trouvant à l'intérieur du bâtiment sont surtout des membres du personnel. Les bâtiments accessibles au public peuvent constituer des exceptions à cette règle. La propagation d'ammoniac à l'intérieur du bâtiment n'est de ce fait pertinente que pour les locaux utilisés par le public et où séjournent un grand nombre de personnes (p.ex. centres commerciaux, parkings couverts, patinoires, etc.).

Dans les situations ci-après, il faut partir du principe que des atteintes graves au sens de l'OPAM sont possibles (à moins que le détenteur ne puisse prouver le contraire) :

- Des parties de l'installation contenant de l'ammoniac se situent dans des locaux ou des espaces où se tiennent un grand nombre de personnes (p.ex. patinoire avec circuit d'ammoniac sous la glace).



- La salle des machines se situe à côté d'un local utilisé par le public et présente des ouvertures donnant sur ce dernier, et le nombre de personnes fréquentant régulièrement¹²⁾ ce local est supérieur à dix (p.ex. hôpitaux, centres commerciaux).
- Un bâtiment avec cour intérieure (p.ex. stade avec toit ouvert), où l'ammoniac pouvant s'échapper d'un condenseur pourrait parvenir dans la zone accessible au public, à condition que le nombre de personnes s'y trouvant régulièrement soit supérieur à dix¹²⁾.

Il n'y a pas lieu d'escompter de graves atteintes dans les situations suivantes :

- Si toutes les parties de l'installation contenant de l'ammoniac se situent dans des zones du bâtiment qui ne sont accessibles qu'au personnel de l'entreprise
- et que ces zones ne se trouvent pas directement à côté de la zone publique ou ne présentent pas d'ouverture donnant sur ces dernières (p.ex. portes ou fenêtres)
- et que les règles de la technique sont respectées.

2.4 Patinoires

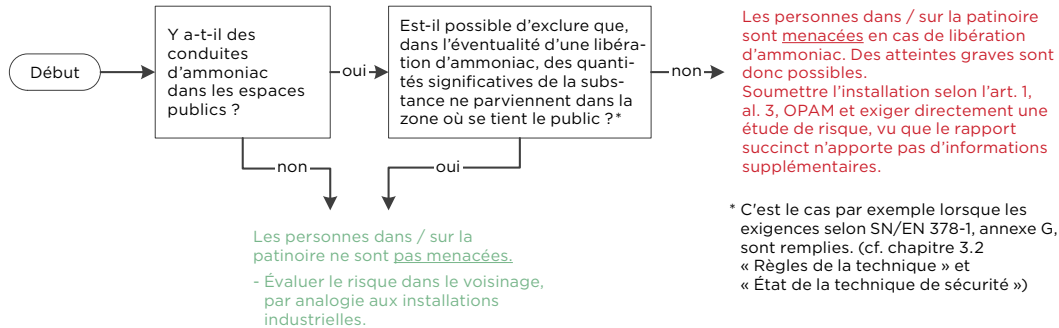
Pour les patinoires, il convient d'une manière générale d'appliquer les principes énoncés au chapitre 2.2. Le nombre de personnes qui ne sont pas des employé-e-s de l'entreprise est potentiellement élevé dans le cas d'une patinoire. Il s'agit par conséquent d'examiner si la libération d'ammoniac pourrait constituer une grave menace pour elles. À cet effet, il convient d'évaluer les différentes parties de l'installation, en utilisant les aides à la décision fournies dans la figure 12. Si un risque pour le public émane de l'une des parties de l'installation, des atteintes graves sont possibles et l'installation doit être soumise à l'OPAM. S'il n'y a pas de mise en danger particulière de personnes externes se trouvant dans l'installation, l'appréciation de la patinoire se fera par analogie à une entreprise industrielle (chapitre 2.2), à savoir qu'il sera tenu compte uniquement des risques pour le voisinage.

12 Régulièrement signifie en l'occurrence au moins une fois par an. Il ne faudrait toutefois exiger une étude de risque que si des atteintes graves pourraient résulter de situations qui se présentent en moyenne pendant au moins une heure par semaine. Si les événements sont plus rares, il est permis de partir de l'hypothèse que le risque est acceptable.

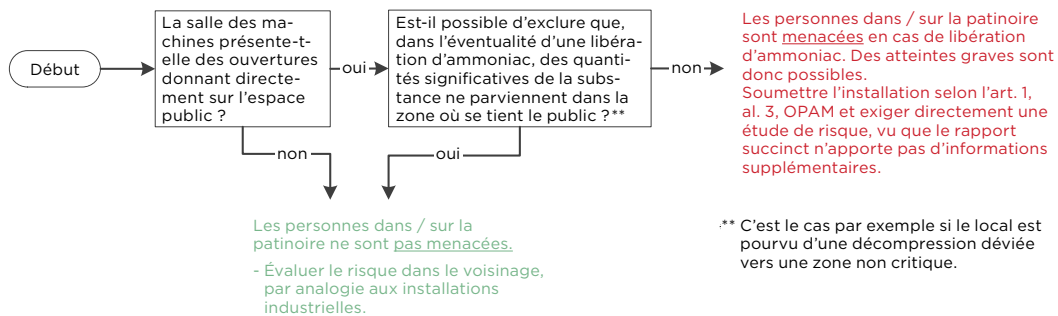


Figure 12 : Libération d'ammoniac dans les patinoires : aide à la décision pour apprécier la mise en danger de personnes

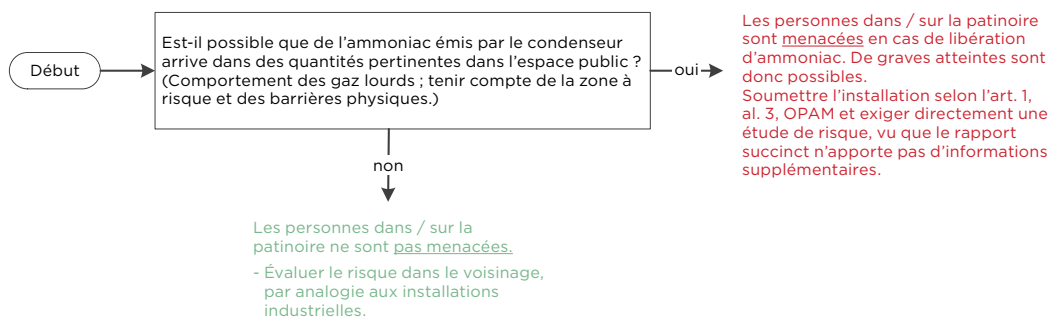
Partie Évaporateur



Partie Conduite de condensat avec séparateur



Partie Condenseur





3 État de la technique de sécurité



3.1 Introduction

Les règles de la technique doivent d'une manière générale être appliquées dans les installations frigorifiques. Pour les installations soumises à l'OPAM, il faut en outre respecter l'état de la technique de sécurité (art. 3 OPAM). Les règles de la technique et l'état de la technique de sécurité évoluent en permanence. C'est pourquoi il est souvent difficile de savoir à quel document se référer pour connaître l'état actuel. Les chapitres qui suivent résument par conséquent les exigences tirées des règles de la technique et de l'état de la technique de sécurité qui sont les plus importantes en rapport avec la prévention des accidents majeurs dans les installations frigorifiques. Le résumé ne se veut pas exhaustif. En outre, il y a des renvois à des documents pertinents pour les exigences plus pointues.

Les règles de la technique pour la construction de systèmes de réfrigération sont décrites dans la norme européenne harmonisée SN EN 378 (parties 1 à 4 ; Lit. [21], [22], [23], [24]). En Suisse, la directive CFST no 6507 vient compléter ces règles de la technique (Lit. [25]).

L'OFEV définit l'état de la technique de sécurité comme suit : « Les mesures de sécurité considérées comme conformes à l'état de la technique sont celles qui ont déjà été appliquées ou expérimentées avec succès dans d'autres entreprises et installations comparables, en Suisse ou à l'étranger ; elles doivent en outre être applicables dans d'autres entreprises. L'état de la technique de sécurité est donc plus vaste que les règles reconnues de la technique. Il englobe toutes les connaissances techniques existant actuellement sur les mesures de sécurité et qui sont objectivement accessibles. Généralement, les informations relatives à l'état de la technique de sécurité



figurent dans des ouvrages spécialisés ou peuvent être obtenues auprès des associations professionnelles. » Lit. [3]

En Allemagne, la directive TRAS 110 (Lit. [20]) s'applique en plus aux installations contenant globalement plus de 3 000 kg d'ammoniac¹³⁾ comme fluide frigorigène. Elle contient des exigences relatives à l'état de la technique de sécurité, qui vont plus loin que celles de la directive SN EN 378, notamment au sujet de la documentation et des mesures d'organisation. En outre, elle contient une évaluation d'accidents survenus entre 1994 et 2004 dans des installations frigorifiques utilisant de l'ammoniac. À la différence de l'OPAM suisse, qui prône une évaluation axée sur les risques, la TRAS 110 a une approche fondée sur les mesures. En clair, une installation est considérée comme satisfaisante lorsque les mesures exigées dans la directive sont mises en œuvre (indépendamment du risque résiduel, qui peut varier selon la situation concrète). Pour cette raison, les mesures proposées dans la TRAS 110 ne sont pas transposables telles quelles à la Suisse. Le groupe de travail recommande par conséquent de ne considérer comme état de la technique de sécurité en Suisse que les mesures de la TRAS 110 qui sont traitées au chapitre 3.2.2.

3.2 Installations utilisant l'ammoniac comme fluide frigorigène

Les principales mesures de sécurité pouvant être prises pour la prévention des accidents majeurs dans les installations utilisant l'ammoniac comme fluide frigorigène sont résumées ci-après. Par souci de lisibilité, nous renonçons sciemment à l'exhaustivité.

3.2.1 Règles de la technique selon SN EN 378 et CFST 6507

Mesures générales

- Les exigences de la protection contre les incendies concernant les voies de fuite à partir de la salle des machines doivent être respectées.
- Il faut en particulier que des portes de sortie de la salle des machines s'ouvrent vers l'extérieur (Lit. [25], chapitre 4.2)
- Le détenteur ou son représentant dûment habilité doit planifier et mettre en œuvre régulièrement les mesures générales de maintenance de l'installation. L'ampleur et le calendrier doivent être décrits en détail dans le manuel d'utilisation (Lit. [24], chapitre 5.2.2)
- Le détenteur ou son représentant doit vérifier à intervalles réguliers (au moins une fois par an) le bon fonctionnement des dispositifs d'alarme, de l'aération mécanique et des détecteurs. Les résultats de ces contrôles sont à consigner dans le procès-verbal relatif à l'installation (SN EN 378-3 (Lit. [24]), annexe D) (Lit. [23], chapitre 9.4)

13

Dans la directive, il est recommandé de l'appliquer pour les installations utilisant à partir de 300 kg d'ammoniac, si elles sont situées à proximité d'objets protégés.



Détection, alarme et dispositifs d'arrêt d'urgence

- La salle des machines doit être surveillée à l'aide de capteurs d'ammoniac (Lit. [23], chapitre 8.7). Le groupe de travail recommande l'application des valeurs limites suivantes pour l'alarme¹⁵⁾ :
- Valeur d'alarme inférieure (préalarme) : 200 ppm
Alarme technique (interne seulement) ; enclencher l'aération mécanique.
- Valeur d'alarme supérieure (valeur d'intervention) : 2 000 ppm
Le courant est interrompu dans la salle des machines, c'est-à-dire que l'installation frigorifique et l'aération mécanique sont éteintes (les ouvertures permettant la pénétration d'air de recharge sont fermées, le clapet de ventilation reste ouvert pour la décompression) ; les soupapes à fermeture rapide sont fermées ; alerte automatique des services d'intervention.^{16) 17)}
- Si l'installation frigorifique est utilisée pour le refroidissement de processus et que son arrêt entraîne immédiatement d'importantes conséquences économiques, pertinentes en matière de sécurité, il est possible de fixer une valeur d'alarme supplémentaire à 30 000 ppm. Dans ce cas, elle ne peut être arrêtée que lorsque cette dernière valeur est atteinte. Pour des raisons de protection contre les explosions, le courant doit être coupé dans la salle des machines lorsque la concentration en ammoniac atteint 30 000 ppm.
- Les valeurs d'alarme inférieures à celles qui sont indiquées ci-dessus sont d'une manière générale admissibles.
- Il faut prévoir un arrêt commandé à distance à l'extérieur de la salle des machines, à proximité de la porte, pour stopper l'installation frigorifique (Lit. [23]), chapitre 5.1).
- Lorsque la quantité d'ammoniac dépasse 500 kg dans des systèmes de circuit caloporteur indirects (p.ex. eau ou glycol), il faut placer des capteurs pour détecter l'éventuelle pénétration de fluide frigorigène dans le circuit (p.ex. via valeur du pH). Ces capteurs doivent déclencher une alarme dans la salle des machines et, au besoin, à l'interface opérateur du système de commande. (Lit. [23], chapitre 8.7)

15 La norme SN EN 378 et la directive CFST indiquent des plages différentes pour les valeurs limites d'alarme. Si ces dernières ne sont pas contradictoires, elles n'en exigent pas moins des clarifications sur les valeurs concrètes à utiliser pour l'exécution.

16 Pendant les heures de travail du personnel dûment formé, une temporisation de reconnaissance est admissible.

17 Les cantons réglementent de différentes manières les cas dans lesquels l'alarme doit être transmise directement à la centrale des services d'intervention ainsi que l'organisation habilitée à octroyer l'autorisation correspondante. Il faut dans tous les cas respecter les exigences définies par l'autorité locale compétente.



- Dans les condenseurs hybrides ou à évaporation, il convient de surveiller le pH de l'eau de refroidissement afin de détecter rapidement les éventuelles fuites d'ammoniac : « Dans les systèmes indirects utilisant plus de 500 kg d'ammoniac, les détecteurs d'ammoniac doivent être placés dans le circuit caloporteur (p.ex. eau ou glycol) afin que la présence de fluide frigorigène dans le circuit puisse être constatée. Ces capteurs doivent déclencher une alarme dans la salle des machines et, au besoin, à l'interface opérateur du système de commande [...]. » (Lit. [23], chapitre 8.7)
- Les installations utilisant plus de 2 000 kg d'ammoniac doivent être équipées d'un système d'arrêt d'urgence, qui actionne les moteurs et les actionneurs. « Après activation de la commande de secours, l'installation frigorifique doit passer dans un mode d'exploitation sûr » (Lit. [22], annexe A, section A.4). Remarque : selon SN EN 378, cette exigence vaut à partir de 3 000 kg. Pour le seuil inférieur indiqué ici, voir le chapitre 3.2.2 « État de la technique de sécurité ».
- Lorsqu'une installation frigorifique utilise plus de 2 000 kg d'ammoniac, l'exploitant / le détenteur doit s'assurer « qu'un local jouant le rôle de station d'alarme centrale soit toujours occupé. Du personnel dûment formé doit arriver sur place dans les 60 minutes suivant l'alarme. Il peut être alerté également par des moyens techniques tels que téléphone mobile, radiorecherche de personne, etc. » (Lit. [23], chapitre 7.4). Remarque : selon SN EN 378, cette exigence vaut à partir de 3 000 kg. Pour le seuil inférieur indiqué ici, voir le chapitre 3.2.2 « État de la technique de sécurité ».

Aération

- Il faut une aération mécanique dans la salle des machines, équipée d'une commande d'urgence indépendante et située à l'extérieur du local. (Lit. [23], chapitre 5.16.1 ; chapitre 5.16.3). Elle doit être activée automatiquement par des capteurs de gaz. (Lit. [23], chapitre 8.7)
- Le lâcher d'ammoniac libéré « [...] doit être effectué de manière que le fluide frigorigène émis ne puisse mettre en danger des personnes ni des choses » (Lit. [22], chapitre 6.2.6.6). Cette règle vaut par analogie pour le placement des ouvertures d'évacuation d'air de la salle des machines. « Le fluide frigorigène s'échappant de la salle des machines doit l'être sans mise en danger de quiconque. » (Lit. [23], chapitre 5.1) « L'évacuation de l'air des regards de maintenance, y compris des passerelles ou des vides, des conduites de fluides frigorigènes inflammables ou toxiques, doit se faire vers un endroit sûr afin d'éviter une accumulation dangereuse de gaz en cas de fuite. » (Lit. [23], chapitre 5.15.3)



- Si la conduite d'évacuation d'air est dotée d'un clapet, celui-ci doit rester ouvert en cas d'alerte au gaz afin de permettre la décompression vers une zone sûre. « Les ouvertures pour l'apport d'air frais et l'évacuation d'air (dans la salle des machines) doivent être disposées de manière que le fluide frigorigène soit évacué dans tous les cas lors d'une fuite. » (Lit. [23], chapitre 5.16.5). Remarque : cette exigence est en contradiction avec celle de la directive CFST, qui stipule que le clapet doit être fermé lorsque la valeur d'intervention est atteinte afin d'empêcher que du gaz ne s'échappe dans l'environnement (Lit. [25], annexe B, remarque ad 4.3.6). Le groupe de travail est d'avis que si la quantité libérée est à ce point importante alors elle devient pertinente pour la prévention des accidents majeurs ; la pression devient tellement élevée que le gaz ne peut pas être retenu dans la salle des machines. L'objectif doit par conséquent être d'évacuer le gaz vers l'extérieur, autant que possible par le canal d'aération, afin d'éviter une libération incontrôlée par des points faibles de l'enveloppe du bâtiment. Les ouvertures d'aération doivent être disposées selon les règles de la technique, d'une manière qui empêche de mettre en danger des personnes. Voir Lit. [23], chapitre 5.1 : « Le fluide frigorigène s'échappant de la salle des machines doit l'être sans mise en danger de quiconque. »

Mesures de rétention

- Les installations d'évaporation directe fonctionnant à l'ammoniac (circuits de types 1 et 3 selon le chapitre 1.1), et comprenant plus de 2000 kg, doivent être dotées de soupapes à fermeture rapide dans la zone de phase liquide, avant la pompe à ammoniac. Ces dispositifs doivent être commandés par l'installation de surveillance de l'ammoniac (Lit. [22], annexe A, section A.2). Remarque : selon SN EN 378, cette exigence vaut à partir de 3000 kg. Pour le seuil inférieur indiqué ici, voir chapitre 3.2.2 « État de la technique de sécurité ».
- Le sol de la salle des machines doit être conçu de manière que l'ammoniac liquide ne puisse s'échapper de ce local. « L'écoulement du système de rétention doit en règle générale être fermé. » (Lit. [23], chapitre 5.17.2.1)
 - Dans la salle des machines, il faut prévoir des cuves de rétention sous les parties de l'installation concernées, ou l'ensemble du local sera conçu comme une cuve de rétention.
 - Aucun écoulement d'eau ouvert ne doit se trouver dans la salle des machines (protection de l'environnement).



Patinoires

La directive SN EN 378-1, annexe G (Lit. [21]), contient une réglementation spéciale pour les patinoires. Si des conduites contenant du fluide frigorigène des classes de sécurité A1, B1 ou B2¹⁸⁾ se situent dans la zone publique, elles peuvent néanmoins être considérées comme des systèmes indirects¹⁹⁾, lorsque certaines conditions sont remplies. Concrètement, les parties contenant du fluide frigorigène doivent être séparée de la zone accessible au public par un sol en acier étanche approprié. Dans un tel cas, les exigences suivantes doivent être satisfaites :

- Il faut des collecteurs de fluide frigorigène pouvant recueillir la quantité totale contenue dans le système.
- Les conduites et les collecteurs (du champ de glace) doivent être reliées sans brides ou par brasage dur, et être intégrées dans un sol en béton.
- Les conduites d'alimentation et de retour doivent être aménagées comme canal de distribution séparé, relié à la salle des machines.

3.2.2 État de la technique de sécurité

Les mesures énumérées ci-après décrivent l'état de la technique de sécurité applicable aux installations frigorifiques fonctionnant à l'ammoniac. Elles valent pour toutes les nouvelles installations entrant dans le champ d'application de l'OPAM. De l'avis du groupe de travail, elles ont un effet positif sur la sécurité et sont économiquement supportables pour les installations nouvelles. Pour les installations existantes, l'autorité et le détenteur doivent apprécier conjointement lesquelles des mesures proposées sont économiquement supportables. Le choix des mesures de sécurité doit toujours reposer sur les principes énoncés dans l'annexe 2 OPAM.

- Autant que possible, les mesures de sécurité relevant de la construction, de la technique et de l'organisation seront combinées. Elles seront harmonisées pour un effet optimal.
- La directive SN EN 378 n'exige différentes mesures qu'à partir d'une quantité d'ammoniac de 3 000 kg. En Suisse, ces exigences doivent être satisfaites à partir de 2 000 kg (seuil quantitatif de l'OPAM). Par exemple :
 - Centrale d'alarme occupée en permanence (Lit. [23], chapitre 7.4)
 - Dispositif d'arrêt commandé à distance pour la conduite contenant le liquide (Lit. [22], annexe A)
 - Système d'arrêt d'urgence (Lit. [22], annexe A)

18 Le CO₂ correspond par exemple à la classe de sécurité A1, l'ammoniac à la classe B2.

19 En d'autres termes, l'installation doit être évaluée comme si le refroidissement de la patinoire se faisait au moyen d'un fluide frigorigène non problématique.



- Lorsqu'une installation est située à l'extérieur, il faut prévoir une cuve de rétention sous le séparateur afin que la surface de la flaque et donc le taux d'évaporation soient limités en cas de libération de fluide frigorigène.
- Les condenseurs contenant de l'ammoniac seront autant que possible placés le plus loin possible d'endroits où se tiennent de nombreuses personnes.
- Les armoires de commande électriques doivent se situer à l'extérieur de la salle des machines afin qu'elles restent accessibles en cas de fuite. Remarque : si, pour des raisons relevant de la construction ou de la technique, il n'est pas possible de sortir la totalité des armoires de commande de la salle des machines d'installations existantes, il faut placer au moins les dispositifs d'arrêt d'urgence en dehors de ce local (cf. chapitre 3.2.1 « Règles de la technique »).
- Les exigences applicables aux patinoires sont les suivantes :
 - Dans le cas de systèmes à circuit unique²⁰⁾ ne répondant pas aux exigences de l'annexe G de la directive SN EN 378-1, les conduites contenant le fluide frigorigène qui sont situées dans la zone publique doivent être recouvertes de plaques massives (acier, béton ou équivalent) et de tapis en caoutchouc. Il faut s'assurer que les conduites sont étanches aux fumées froides ou au CO₂²¹⁾. L'étanchéité doit être vérifiée périodiquement.
 - Les conduites doivent être équipées d'un nombre suffisant de détecteurs. (Deux détecteurs d'ammoniac au minimum).
 - Valeur d'alarme pour le système d'alerte pour l'ammoniac des collecteurs :

Valeur inférieure, 200 ppm ;
Valeur supérieure, 1000 ppm, avec arrêt automatique de l'installation
(Valeur inférieure à celle de la directive CFST, car des personnes se trouvent très près de l'endroit des émissions potentielles).
 - Il est possible de renoncer à la surveillance de l'ammoniac dans les conduites lorsque les exigences selon SN EN 378-1, annexe G (Lit. [21]), sont respectées (voir règle de la technique).
 - La dalle en béton couvrant les conduites d'ammoniac sous la patinoire doit avoir une épaisseur d'au moins 2 cm²²⁾.

20 Le terme « système à circuit unique » désigne ici une installation où le champ de glace est refroidi par l'évaporation directe d'ammoniac.

21 Le terme « étanche à la fumée froide » est utilisé dans le contrôle des constructions pour la protection contre les incendies. Par exemple, on vérifie à l'aide d'un fumigène si de la fumée froide (à température ambiante), donc sans différence de pression, s'échappe de l'enveloppe faisant l'objet du contrôle.

22 Principalement pour des raisons de protection contre la corrosion.



Si ces exigences sont satisfaites, le risque encouru par les utilisateurs de la patinoire peut être considéré comme suffisamment petit lors de l'évaluation selon la figure 12 (chapitre 2.4), de manière qu'une étude de risque n'est pas requise en raison de l'exposition de ce groupe de personnes.

3.3 Installations utilisant du dioxyde de carbone et des HFC comme fluide frigorigène

3.3.1 Règles de la technique selon SN EN 378

- La directive SN EN 378, parties 1 à 4, décrit les règles de la technique pour tous les types d'installations frigorifiques, utilisant tous les fluides frigorigènes usuels. (Lit. [21], Lit. [22], Lit. [23], Lit. [24])
- Les exigences de la protection contre les incendies concernant les voies de fuite à partir de la salle des machines doivent être respectées.
- Il faut en particulier que des portes de sortie de la salle des machines s'ouvrent vers l'extérieur.

3.3.2 État de la technique de sécurité

Les exigences décrites au chapitre 3.2.2 valent par analogie. Ci-après, seules les différences sont par conséquent mentionnées.

- Les conduites situées dans la zone publique de patinoires doivent être surveillées à l'aide d'un nombre suffisant de capteurs de CO₂. (Deux détecteurs au minimum.) Ce système de détection de gaz doit être séparé de la surveillance de la salle des machines.
- Les valeurs d'alarme ci-après pour le système d'alarme CO₂ des conduites de la patinoire ont été éprouvées par le passé :
 - Valeur d'alarme inférieure (préalarme) : 1.5 %
 - Valeur d'alarme supérieure (valeur d'intervention) : 3.0 %
- Il est possible de renoncer à la surveillance du CO₂ dans les conduites lorsque les exigences selon SN EN 378-1, annexe G, sont respectées. (voir règles de la technique pour les installations utilisant l'ammoniac comme fluide frigorigène, chapitre 3.2.1).

3.4 Mettre en œuvre correctement les règles de la technique et l'état de la technique de sécurité

- Les règles de la technique doivent être réalisées pour les installations aussi bien existantes que nouvelles.
- Pour les secondes, toutes les mesures correspondant à l'état de la technique de sécurité doivent également être mises en œuvre (chapitre 3.2.2 et 3.3.2). Les mesures mentionnées sont considérées comme économiquement supportables.



- Pour les installations existantes, l'autorité et le détenteur doivent apprécier conjointement lesquelles des mesures proposées sont économiquement supportables. D'entente avec le détenteur, il appartient à l'autorité d'exécution d'arrêter lesquelles de ces mesures doivent être réalisées et dans quel délai.

3.5 Mesures de sécurité supplémentaires

Si les courbes cumulatives du risque se situent dans le domaine intermédiaire ou le secteur inacceptable, il convient d'étudier des mesures supplémentaires pour réduire le risque et de les mettre en œuvre. À titre d'exemples, différentes mesures de sécurité allant au-delà de l'état de la technique de sécurité sont présentées ci-après, mesures qui ont toutefois déjà été mises en œuvre dans certaines installations par le passé. Il convient d'examiner si, dans la situation particulière, de telles mesures pourraient permettre d'atteindre le but recherché et de réduire le risque.

3.5.1 Mesures de protection de la population

- La puissance de l'aération mécanique de la salle des machines et la hauteur des orifices de décharge peuvent être définies de manière que la décompression, à savoir l'évacuation de l'ammoniac, se fasse par le biais de l'aération vers l'extérieur, sans que des concentrations critiques ne soient atteintes.
- Surveillance de la conduite de condensat extérieure à l'aide de détecteurs d'ammoniac. Pour s'assurer que de l'ammoniac s'échappant de la conduite soit rapidement détecté par les capteurs au lieu d'être emporté, il est judicieux d'entourer la conduite d'une enveloppe en matériaux légers. Celle-ci ne doit pas être parfaitement étanche. Selon la situation, il peut être nécessaire de recourir à une enveloppe massive.
- Installation d'un laveur d'air dans la salle des machines. Cet appareil aspire l'air du local, le lave et l'y injecte à nouveau. La capacité d'absorption d'un tel laveur dépend en premier lieu de l'eau fraîche acheminée et de la rétention des eaux polluées. La quantité émise ou le taux de libération pouvant être maîtrisé est limité par ce facteur. Ce type de dispositifs est spécialement approprié pour les petites quantités d'ammoniac (jusqu'à 300 kg environ) ; pour les installations plus grandes, la capacité d'absorption est souvent insuffisante. Ces laveurs sont généralement utilisés pour des pompes à chaleur ou des installations frigorifiques sises dans un environnement sensible, donc des installations de type 4. Un laveur peut également être judicieux pour remédier aux conséquences de petites pannes entraînant une libération d'ammoniac, lorsque la population n'est pas mise en danger. Ce dispositif devrait donc pouvoir être actionné depuis un endroit accessible sans risque en cas de fuite.



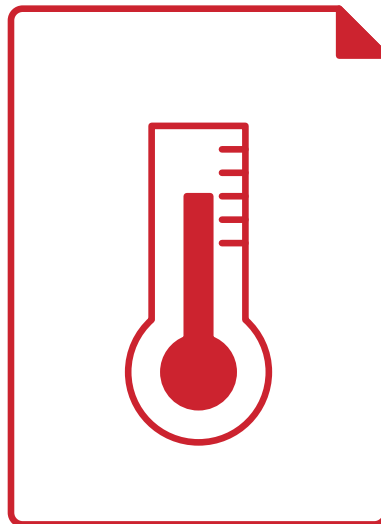
- S'il y a des objets sensibles dans les environs de l'installation (p. ex. EMS, écoles, centres commerciaux) et qu'aucune mesure proportionnelle ne permet d'empêcher l'émission et la propagation dans l'environnement, il est possible de surveiller la zone à l'aide de détecteurs d'ammoniac, reliés à un système d'alarme adéquat. Une telle mesure ne peut être envisagée qu'après consultation du propriétaire et/ou de l'exploitant de l'objet sensible. Attention : la détection en plein air est techniquement difficile et doit être planifiée avec le soin nécessaire par des experts.
- Avant la mise en service, toutes les soudures de conduites extérieures contenant du liquide doivent être contrôlées. En vertu des règles de la technique, le standard consiste à contrôler 10 % des soudures (fondé sur la directive PED 97/23/CE concernant les équipements sous pression).
- Choix d'un type d'installation sans parties extérieures contenant de l'ammoniac.
- Dans les installations nouvelles, le flotteur haute pression doit être placé le plus près possible du condenseur afin que la conduite de condensat (conduite pour liquide sous pression située après le condenseur) soit la plus courte possible.

3.5.2 Mesures de protection de l'environnement

- Ne refroidir à l'eau les circuits d'ammoniac que par le biais d'un circuit secondaire (c.-à-d. pas de refroidissement direct avec des eaux souterraines ou superficielles), si le risque environnemental reste trop important malgré une surveillance du pH.
- Assurer la rétention de l'eau d'extinction :
 - Installation de verrous coulissants dans les canalisations. Il faut veiller à ce qu'ils puissent être actionnés en toute sécurité en cas de libération d'ammoniac.
 - Asphalage des places autour de l'installation frigorifique afin de retenir les eaux usées venant des rideaux d'eau.



4 Rapport succinct : estimer l'ampleur des dommages



4.1 But et ampleur

Le rapport succinct permet à l'autorité d'exécution d'évaluer les conséquences possibles d'accidents majeurs. Complété par une visite des lieux, il lui fournit les données nécessaires pour trancher si le détenteur honore les obligations inscrites à l'art. 3 OPAM et pour décider si ce dernier doit établir une étude de risque (Lit. [3]).

Fondamentalement, le rapport succinct doit montrer s'il est permis de partir du principe que « l'entreprise ne risque pas de causer de graves dommages à la population ou à l'environnement à la suite d'accidents majeurs » (Lit. [1]). À cet effet, il convient d'étudier les scénarios les plus pessimistes (« worst case ») (Lit. [3]). L'art. 5 OPAM définit le contenu du rapport succinct comme suit :

- une brève description de l'entreprise, un plan de situation et des informations sur le voisinage
- une liste indiquant les quantités maximales de substances, de préparations ou de déchets spéciaux présents dans l'entreprise et qui dépassent les seuils quantitatifs, ainsi que les seuils quantitatifs applicables
- les informations ayant servi de base à la conclusion éventuelle de contrats d'assurance de chose et de responsabilité civile
- des indications sur les mesures de sécurité
- une estimation de l'ampleur des dommages que pourrait subir la population ou l'environnement à la suite d'accidents majeurs.



D'autres instructions pour l'établissement du rapport succinct figurent dans le manuel I de l'OPAM, à l'annexe A3 (Lit. [3]). Plusieurs cantons proposent en outre un formulaire de base pour le rapport succinct. Celui-ci garantit que l'autorité d'exécution cantonale obtiendra toutes les informations dont elle a besoin.

4.2 Types d'événements à examiner

Comme pour toute installation industrielle, toute une série d'événements indésirables peuvent survenir dans une installation frigorifique utilisant de l'ammoniac. Pour diverses raisons, seule une petite partie est pertinente pour la prévention des accidents majeurs. C'est pourquoi les paragraphes qui suivent s'attachent à spécifier quels types d'événements doivent être pris en compte au niveau du rapport succinct et indiquent les raisons pour lesquels d'autres types d'événements ne doivent pas être retenus.

4.2.1 Propagation d'un nuage toxique

La propagation d'un nuage d'ammoniac (ammoniac sous forme gazeuse + aérosol) est la principale source de danger émanant des installations frigorifiques utilisant ce fluide frigorigène. Les scénarios correspondants doivent par conséquent être étudiés de plus près.

Des outils sont proposés aux chapitres 4.3 à 4.6, sous la forme d'exigences posée à l'estimation de l'ampleur pour le rapport succinct. Ces exigences sont applicables à toutes les installations frigorifiques soumises à l'OPAM, qu'elles le soient parce que le seuil quantitatif est dépassé ou parce que d'autres critères énoncés au chapitre 2 sont remplis.

4.2.2 Pollution des eaux

Les pollutions des eaux d'une ampleur atteignant des proportions d'accident majeur ne sont pas un risque de premier plan dans le cas des installations frigorifiques utilisant de l'ammoniac. Le rapport succinct doit décrire si, en cas de libération d'ammoniac, une pollution des eaux est possible. Pour calculer l'ampleur des dommages, on utilise en l'occurrence l'indicateur « eaux superficielles polluées (volume) » selon Lit. [4]. Pour l'écotoxicité de l'ammoniac, on utilise la CL50 pour les poissons de 27,1 mg/l (96 heures) (Lit. [20]). Des motifs justifiant un non-traitement de ce point peuvent être les suivants :

- L'ammoniac libéré sous forme de gaz ou d'aérosol s'évapore par la voie des airs et ne peut conduire à une pollution significative des eaux. Ici, il convient de tenir compte du fait que l'eau utilisée par les services d'intervention (p.ex. rabattement de l'ammoniac à l'aide d'un rideau d'eau) peut être retenue.
- Selon les règles actuelles de la technique et l'état de la technique de sécurité, la flaque d'ammoniac liquide doit être retenue sur place.

Si le refroidissement se fait directement à l'aide d'eau souterraine ou superficielle, ou si la rétention d'ammoniac sous forme liquide n'est pas assurée, la situation doit toutefois être examinée de plus près.



4.2.3 Explosion

Les scénarios d'explosion revêtent une importance moindre par rapport aux effets toxiques dans la prévention des accidents majeurs pouvant survenir dans les installations frigorifiques utilisant de l'ammoniac. Ils ne doivent par conséquent être considérés que dans des cas dûment motivés. Voici pourquoi :

- À des concentrations situées entre 15,4 et 33,6 % (correspond à 108 à 240 g/m³; Lit. [19]), l'ammoniac forme avec l'air un mélange explosible. Cependant, la concentration en plein air atteint rapidement des valeurs situées entre 5 et 10 %, même si de très grandes quantités sont libérées au final (10 à 40 t). Il n'y a donc pas de probabilité significative qu'une inflammation ou une explosion se produise à l'extérieur (Lit. [16], pp. 31/32).
- Des concentrations d'ammoniac explosibles peuvent par contre être atteintes dans la salle des machines ou l'installation d'aération. Pour éviter les explosions, il faut par conséquent prendre des mesures de protection appropriées dans les parties de bâtiment concernées. Ainsi, l'état de la technique de sécurité (cf. chapitre 3) exige que le courant soit interrompu dans la salle des machines, au plus tard lorsque la valeur de 30 000 ppm d'ammoniac est atteinte.
- Si une explosion devait néanmoins se produire, son effet reste très limité sur le plan spatial, en comparaison de la propagation d'un nuage toxique. Ce point est pertinent en premier lieu pour la sécurité au travail.

Les mesures de protection contre les explosions internes à l'entreprise sont donc parfaitement justifiées et ne sont aucunement remises en question par les présentes explications.



4.3 Aperçu de la démarche

La libération d'ammoniac dans une installation frigorifique se déroule en trois phases : émission, propagation et atteintes aux personnes. La démarche suivie pour estimer l'ampleur potentielle des dommages repose sur ces phases. Elle est schématisée dans la figure 13. Cette dernière renvoie en outre aux chapitres et figures pertinents afin de compléter l'information.

Figure 13 : Estimer l'ampleur des dommages au niveau du rapport succinct : aperçu de la démarche.

Phase 1 : Émission

Déterminer les scénarios pertinents en fonction du type d'installation

> selon figures 14 à 20

Déterminer la quantité d'ammoniac émise ou le taux de libération pour chaque scénario considéré, en fonction du lieu d'émission

> selon chapitre 4.4.2 « Quantité émise ou taux de libération »



Phase 2 : Propagation

Déterminer les dimensions (longueur et largeur) des zones à risque

R_{99} , R_{50} et R_1

> selon chapitre 4.5.1 « Calcul de la propagation en plein air »

Ou, en partant du type d'installation concerné, lire les figures 14 à 20 pour savoir à quelles figures de l'annexe A5 se référer pour déterminer les quantités émises / les taux de libération pertinents.



Phase 3 : Atteintes

Déterminer le nombre maximum de personnes pouvant se tenir à l'intérieur des 3 zones à risque R_{99} , R_{50} et R_1

(dans la direction critique du vent, à l'heure critique de la journée)

> selon chapitre 4.6.2 « Nombre de personnes »

Calculer l'ampleur maximale des dommages

À l'aide du nombre maximum de personnes potentiellement touchées et des valeurs de létalité moyennes R_{99} , R_{50} et R_1

> selon chapitre 4.6.3 « Détermination de l'ampleur des dommages »



Phase 1 : émission

Dans un premier temps, l'ammoniac est émis à proximité de l'installation. Dans bien des cas, cette émission a lieu à l'intérieur d'un bâtiment : l'ammoniac se propage dans le local concerné, puis il parvient dans l'environnement par le biais du système d'aération ou d'éventuelles ouvertures (p.ex. portes, fenêtres). Dans le cadre du rapport succinct, il s'agit d'étudier différents scénarios afin de repérer des combinaisons défavorables du lieu et de la quantité des émissions. Les bases nécessaires sont décrites au chapitre 4.4.

Phase 2 : propagation

Après la libération, le gaz d'ammoniac se propage dans les environs. Pour la prévention des accidents majeurs, c'est surtout la propagation à l'extérieur qui est pertinente. Pour en arriver là, l'ammoniac émis doit d'abord s'échapper du bâtiment. En règle générale, il parvient dans l'environnement par les conduits d'aération. Dans des cas exceptionnels, il peut également s'échapper par des points faibles de l'enveloppe du bâtiment (p.ex. portes, fenêtres ; à ce propos, voir aussi le chapitre 4.4.1).

Phase 3 : atteintes

Il y a dommages lorsque des personnes sont exposées, pendant une certaine durée, à une concentration hautement toxique d'ammoniac. Pour le rapport succinct, il faut par conséquent estimer combien de personnes pourraient, dans le plus défavorable des cas, se tenir dans la zone à risque.

4.4 Libération d'ammoniac

4.4.1 Conception des scénarios : voies d'émission et propagation du gaz

Pour l'estimation de l'ampleur pour le rapport succinct, les circuits de fluide frigorigène séparés les uns des autres sont évalués séparément. À ce niveau, il est recommandé de partir des quatre scénarios d'émission ci-après (par installation), et d'en dériver le « cas le plus pessimiste » (« worst case ») :

- Libération continue de l'évaporateur
- Libération continue du séparateur
- Libération continue condenseur
- Libération spontanée dans la zone du séparateur
(Propagation consécutive selon la situation, avec terme source spontané ou continu. – cf. chapitre 4.4.2.)



Pour certains types d'installations, différentes parties de celles-ci se trouvent dans un même local et doivent par conséquent être considérées conjointement. Les figures 14 à 20 illustrent les lieux de libération qu'il convient d'examiner selon le type d'installation. Il y est en outre précisé à l'aide de quelle autre figure il faut déterminer les dimensions de la zone à risque (à ce sujet, voir le chapitre 4.5.1 ainsi que l'annexe A5).

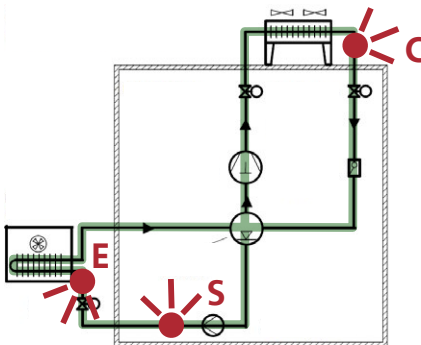
Pour des configurations d'installations sortant de l'ordinaire, il n'est pas exclu que d'autres lieux d'émission puissent être à l'origine du scénario le plus pessimiste. Si tel est le cas, ces scénarios doivent être étudiés et inclus dans le rapport succinct.

Figure 14 : Scénarios de libération à prendre en compte pour estimer l'ampleur des dommages.

Scénarios de libération et modèle de propagation du gaz

Type 1

Condensation directe
Évaporation directe



Scénarios à examiner :

Type de propagation du gaz et modèle de propagation à utiliser

Libération continue

E : directement dans l'environnement à partir de la conduite de fluide située avant l'évaporateur, si ce dernier se trouve à l'air libre ;
ou dans l'environnement par le biais de l'aération, si l'évaporateur se trouve dans le bâtiment

E : continu, gaz lourd, 80 % d'aérosol dans le nuage (figures 43 à 45)
Continu, gaz neutre (figures 46 à 51)

S : dans l'environnement, par le biais de l'aération, à partir de la conduite de fluide située après le séparateur

S : Continu, gaz neutre (figures 46 à 51)

C : directement dans l'environnement, à partir de la conduite de fluide située après le condenseur

C : continu, gaz lourd, 80 % d'aérosol dans le nuage (figures 43 à 45)

Libération spontanée

Émission du séparateur :

- Par le biais de l'aération, si dans un local intérieur
- ou par une (des) ouverture(s) dans la façade, si dans un local ayant une paroi extérieure

- Continu, gaz neutre (figures 46 à 51)
- Spontanée, gaz lourd 50 % aérosol dans le nuage (figures 40 à 42)



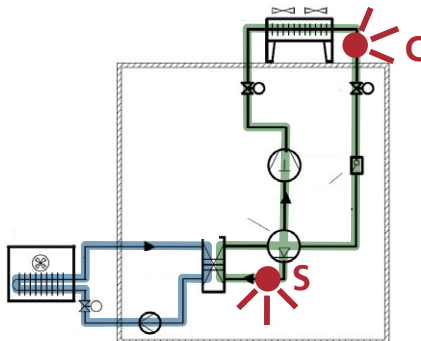
Figure 15 : Scénarios de libération à prendre en compte pour estimer l'ampleur des dommages.

Scénarios de libération et modèle de propagation du gaz

Type 2

Condensation directe

Évaporation directe



Scénarios à examiner :

Type de propagation du gaz et
modèle de propagation à utiliser

Libération continue

S : dans l'environnement, par le biais de l'aération, à partir
de la conduite de fluide située après le séparateur

S : Continu, gaz neutre
(figures 46 à 51)

C : directement dans l'environnement, à partir
de la conduite de fluide située après le condenseur

C : continu, gaz lourd,
80 % d'aérosol dans le nuage
(figures 43 à 45)

Libération spontanée

Émission du séparateur :

- Par le biais de l'aération, si dans un local intérieur
- ou par une (des) ouverture(s) dans la façade,
si dans un local ayant une paroi extérieure

- Continu, gaz neutre
(figures 46 à 51)
- Spontanée, gaz lourd
50 % aérosol dans le nuage
(figures 40 à 42)



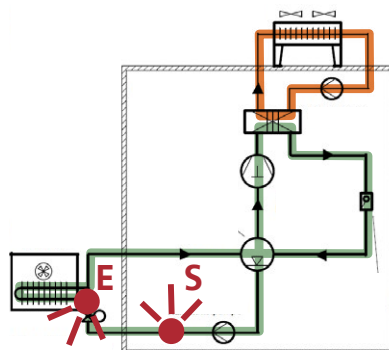
Figure 16 : Scénarios de libération à prendre en compte pour estimer l'ampleur des dommages.

Scénarios de libération et modèle de propagation du gaz

Type 3

Caloporteur

Évaporation directe



Scénarios à examiner :

Type de propagation du gaz et
modèle de propagation à utiliser

Libération continue

- E : directement dans l'environnement à partir de la conduite de fluide située avant l'évaporateur, si ce dernier se trouve à l'air libre ;
ou dans l'environnement par le biais de l'aération, si l'évaporateur se trouve dans le bâtiment
- S : dans l'environnement, par le biais de l'aération, à partir de la conduite de fluide située après le séparateur

- E : continu, gaz lourd,
80 % d'aérosol dans le nuage
(figures 43 à 45)
Continu, gaz neutre
(figures 46 à 51)
- S : Continu, gaz neutre
(figures 46 à 51)

Libération spontanée

Émission du séparateur :

- Par le biais de l'aération, si dans un local intérieur
 - ou par une (des) ouverture(s) dans la façade, si dans un local ayant une paroi extérieure
- Continu, gaz neutre
(figures 46 à 51)
 - Spontanée, gaz lourd
50 % aérosol dans le nuage
(figures 40 à 42)



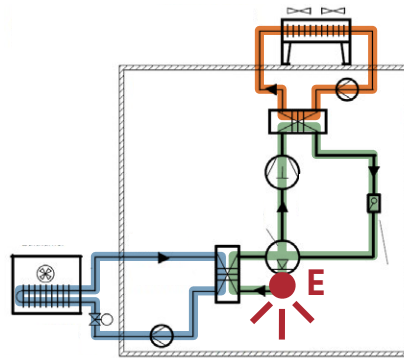
Figure 17 : Scénarios de libération à prendre en compte pour estimer l'ampleur des dommages.

Scénarios de libération et modèle de propagation du gaz

Type 4

Caloporteur

Frigoporteur



Scénarios à examiner :

Type de propagation du gaz et
modèle de propagation à utiliser

Libération continue

E : dans l'environnement, par le biais de l'aération, à partir
de la conduite de fluide située après le séparateur

E : Continu, gaz neutre
(figures 46 à 51)

Libération spontanée

Émission du séparateur :

- Par le biais de l'aération, si dans un local intérieur
- ou par une (des) ouverture(s) dans la façade,
si dans un local ayant une paroi extérieure

- Continu, gaz neutre
(figures 46 à 51)
- Spontanée, gaz lourd
50 % aérosol dans le nuage
(figures 40 à 42)



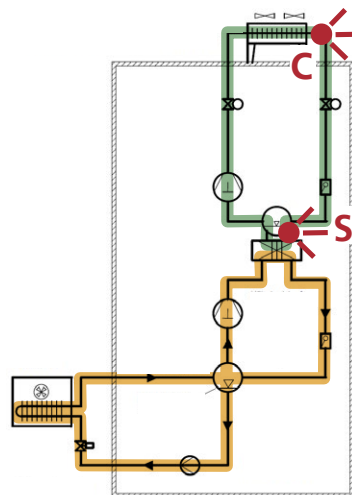
Figure 18 : Scénarios de libération à prendre en compte pour estimer l'ampleur des dommages.

Scénarios de libération et modèle de propagation du gaz

Type 5

Condensation directe

Évaporation directe



Scénarios à examiner :

Type de propagation du gaz et
modèle de propagation à utiliser

Libération continue

S : dans l'environnement, par le biais de l'aération, à partir
de la conduite de fluide située après le séparateur

S : Continu, gaz neutre
(figures 46 à 51)

C : directement dans l'environnement, à partir de
la conduite de fluide située après le condenseur

C : continu, gaz lourd,
80 % d'aérosol dans le nuage
(figures 43 à 45)

Libération spontanée

Émission du séparateur :

- Par le biais de l'aération, si dans un local intérieur
- ou par une (des) ouverture(s) dans la façade,
si dans un local ayant une paroi extérieure

- Continu, gaz neutre
(figures 46 à 51)
- Spontanée, gaz lourd
50 % aérosol dans le nuage
(figures 40 à 42)



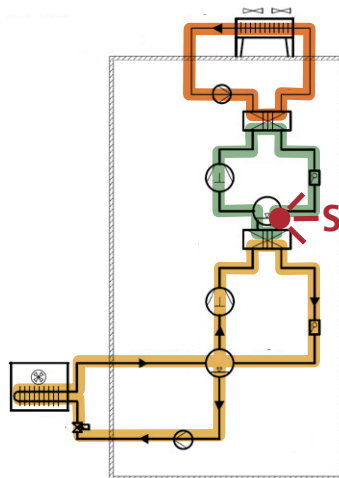
Figure 19 : Scénarios de libération à prendre en compte pour estimer l'ampleur des dommages.

Scénarios de libération et modèle de propagation du gaz

Type 6

Caloporteur

Condensation directe



Scénarios à examiner :

Type de propagation du gaz et
modèle de propagation à utiliser

Libération continue

S : dans l'environnement, par le biais de l'aération, à partir
de la conduite de fluide située après le séparateur

S : Continu, gaz neutre
(figures 46 à 51)

Libération spontanée

Émission du séparateur :

- Par le biais de l'aération, si dans un local intérieur
- ou par une (des) ouverture(s) dans la façade,
si dans un local ayant une paroi extérieure

- Continu, gaz neutre
(figures 46 à 51)
- Spontanée, gaz lourd
50 % aérosol dans le nuage
(figures 40 à 42)



Figure 20 : Scénarios de libération à prendre en compte pour estimer l'ampleur des dommages.

Scénarios de libération et modèle de propagation du gaz

Type 7

Installation frigorifique refroidie à l'air,
sise entièrement à l'extérieur
(pas de représentation schématique)

Scénarios à examiner :

Type de propagation du gaz et
modèle de propagation à utiliser

Libération continue

S : directement dans l'environnement, à partir
de la conduite de fluide située après le séparateur

S : continu, gaz lourd,
80 % d'aérosol dans le nuage
(figures 43 à 45)

Libération spontanée

– Totalité du contenu directement dans l'environnement

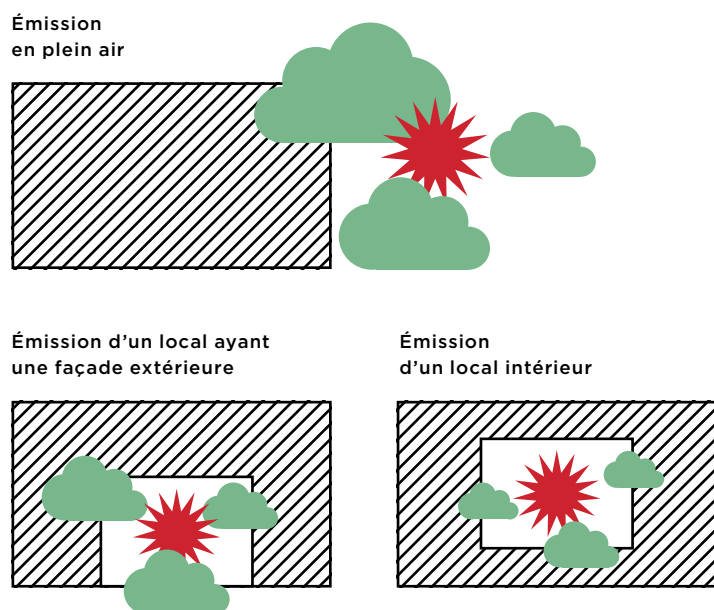
– Spontanée, gaz lourd
50 % d'aérosol dans le nuage
(figures 40 à 42)

4.4.2 Quantité libérée ou taux de libération

Lors de la détermination de l'ampleur maximale des dommages, il faut considérer également la libération de la totalité du contenu d'un circuit d'ammoniac formant un tout. On négligera les éventuelles soupapes à fermeture rapide, car il est interdit de tenir compte des mesures de sécurité actives au niveau du rapport succinct. Cependant, il faut savoir que ce n'est pas toujours la totalité de l'ammoniac libéré qui se propage dans l'environnement sous forme de nuage : selon le lieu d'émission, une partie de la substance forme une flaque au sol et s'évapore très lentement seulement. En outre, les gouttelettes d'aérosol emportées par le gaz libéré sont en partie précipitées au contact d'obstacles sur le chemin de propagation et ne se trouvent donc plus que partiellement dans le nuage. Par analogie aux critères utilisés pour soumettre une installation, on distingue ici entre trois lieux d'émission : « à l'air libre », « dans un local ayant une paroi extérieure » et « dans un local intérieur » (voir figure 21 ou chapitre 2.2.3).



Figure 21 : Variation de la quantité d'ammoniac émise dans l'environnement et s'y propageant sous forme de nuage, en fonction de l'endroit où se produit la fuite.



Pour déterminer la part d'ammoniac concernée par la propagation du nuage, on utilise les mêmes facteurs de correction que ceux qui le sont dans les critères pour soumettre une installation. Pour les libérations spontanées, ceux-ci ont été complétés sur la base de réflexions analogues. Le tableau 5 reprend les valeurs correspondantes. Pour la dérivation des valeurs, cf. annexe A5.

Tableau 5 : Facteurs de correction pour la part d'ammoniac qui se propage dans l'environnement sous forme de nuage (gaz et aérosol).

Facteurs de correction	Facteur de correction $K_{\text{lieu}}^{24)}$	
	Libération continue	Libération spontanée
Lieu de libération		
Libération en plein air	1.0	0.4
Libération dans un local ayant une paroi extérieure (avec des ouvertures donnant sur l'extérieur)	0.2 (ou 0.6; voir tableau 16, annexe A5)	0.4 (ou 0.2; voir tableau 17, annexe A5)
Libération dans un local intérieur > Terme source continu, libération par les conduits d'aération en l'espace de 10 min.	0.2	0.2 ²⁵⁾

24 Les facteurs de correction sont dérivés des hypothèses sur la part d'ammoniac qui s'évapore spontanément et sur la quantité d'ammoniac liquide qui est emportée sous forme d'aérosol par le gaz qui s'échappe. Les facteurs de correction indiqués reposent sur les données de Lit. [6]. Pour la dérivation, voir aussi annexe A5.

25 On part de l'hypothèse que, après une libération spontanée dans un local intérieur, l'ammoniac parvient dans l'environnement par le biais du système d'aération. Pour la propagation à l'air libre, on part d'un terme source continu, avec une durée d'émission de 10 min.



La masse totale de l'ammoniac se propageant dans l'environnement sous forme de nuage est calculée selon la formule suivante :

$$m_{(\text{ammoniac, nuage})} = m_{(\text{ammoniac dans l'installation})} \times K_{\text{lieu}}$$

Pour la libération continue ou spontanée, il faut prendre en considération, outre la quantité totale libérée, une série d'autres aspects, qui sont décrits ci-après.

Libération continue de l'évaporateur, du séparateur et du condenseur

Dans le cas de la libération continue, il n'y a pas que la quantité absolue qui soit déterminante, mais également en quelle intervalle de temps elle a lieu. Pour déterminer le taux de libération pour le rapport succinct, il faut partir de l'hypothèse que l'installation se vide intégralement en l'espace de 10 min. (Lit. [18], annexe E)²⁶.

Si le calcul ci-dessus donne un taux de libération supérieur à 10 kg/s, il faut partir du taux maximum de 10 kg/s²⁷ ; la durée d'émission spécifique de l'installation, elle, doit être calculée sur la base de la quantité d'ammoniac présente dans le cas concret. Il n'est alors plus permis d'utiliser les zones à risque prédéterminées selon le modèle simplifié du chapitre 4.5.1 ou de l'annexe A5. Il faut en effet procéder à des calculs de propagation pour la situation concrète, qui tiennent dûment compte de ces éléments.

Libération spontanée dans la zone du séparateur

La libération spontanée suppose la défaillance complète d'un conteneur. Dans un tel cas de figure, le contenu est libéré d'un coup. Le reste de la substance contenue dans l'installation s'échappe en continu par la brèche créée. Le terme source d'une libération spontanée ne devrait par conséquent être qu'une quantité importante d'ammoniac solidaire, par exemple le contenu d'un réservoir de condensat, mais pas la totalité du contenu de l'installation.

Lors de libérations spontanées, une grande partie de l'ammoniac libéré demeure dans la flaque et n'est donc pas concerné par la propagation du nuage. Au niveau du rapport succinct, les considérations concernant le « cas

26 C'est sciemment que l'on s'écarte ici des exigences valables pour les critères utilisés pour soumettre une installation. Ce choix est justifié aussi par le fait que les petites installations se vident plus rapidement. La durée de libération de 5 min. utilisée dans ces critères est considérée comme réaliste pour les événements pertinents en matière d'accidents majeurs pouvant survenir dans de petites installations, avec un contenu inférieur à 2 t. Une analyse de sensibilité des calculs de propagation relative à ce paramètre a montré que, pour une même quantité d'ammoniac libérée, les durées d'émission situées entre 2 et 10 min. influaient peu sur l'étendue de la zone à risque.

27 Le taux de libération est limité par le diamètre maximal de la conduite. Ce diamètre augmente toutefois moins que proportionnellement avec la quantité d'ammoniac, vu que le plus grand volume de remplissage n'est que partiellement lié à la plus grande puissance frigorifique. Des facteurs au moins aussi importants sont le type et le nombre de consommateurs, le dimensionnement de l'échangeur de chaleur ainsi que la longueur des conduites entre la salle des machines et l'utilisateur du froid. L'évaluation d'études de risque sur le sujet a montré que les taux de libération supérieurs à 10 kg/s constituent l'exception (cf. annexe A2).



le plus pessimiste » ne devront par conséquent porter sur la libération spontanée que si les quantités libérées sont importantes. Dans le cas d'installations utilisant moins de 2 000 kg d'ammoniac et qui sont soumises à l'OPAM en vertu de l'art. 1, al. 3, il n'est pas nécessaire de tenir compte de la libération spontanée (voir chapitre 2.2.3).

En cas de libération spontanée, la propagation consécutive peut aussi se produire avec un terme source continu, du fait de la rétention assurée par l'enveloppe du bâtiment (cf. chapitre 4.5).

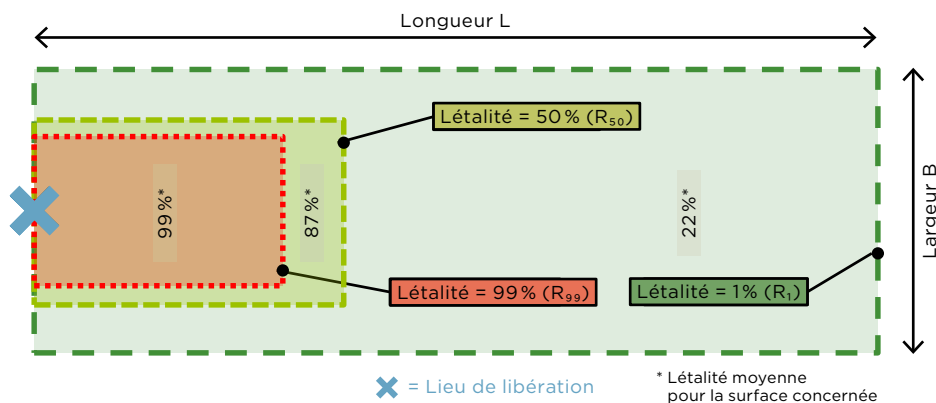
4.5 Propagation du nuage toxique

Un modèle simplifié permettant d'estimer la propagation du nuage a été élaboré afin de faciliter l'appréciation de l'ampleur au niveau du rapport succinct pour les cas simples, sans qu'il soit nécessaire de passer par la modélisation. Il repose sur des hypothèses prudentes, qui sont documentées dans l'annexe A5. Le détenteur de l'installation ou le rédacteur du rapport succinct sont libres de s'écarter de ces indications et de faire leurs propres calculs de propagation. Une telle démarche peut être judicieuse surtout si le modèle décrit ici indique tout juste un potentiel de dommages graves. Dans ce cas, le détenteur / rédacteur devrait néanmoins s'en tenir autant que possible aux hypothèses de base décrites à l'annexe A5, dans l'intérêt d'une exécution uniforme. Les écarts doivent être dûment motivés.

4.5.1 Calcul de la propagation en plein air : modèle simplifié

Lorsque la propagation de gaz est calculée avec des outils informatiques, les surfaces obtenues sont généralement en forme de gouttes. Dans la partie marginale de celles-ci, il y a une létalité moyenne définie pour les personnes qui s'y tiennent pendant un certain temps. Dans le modèle simplifié, les surfaces des zones à risque sont rectangulaires (cf. figure 22) ; les données de base et les calculs sont expliqués à l'annexe A5. L'estimation de l'ampleur tient compte en l'occurrence des zones à risque en marge desquels la létalité est de 99 % (= R_{99}), 50 % (= R_{50}) ou 1 % (= R_1) (en s'appuyant sur Lit. [9]). Dans ces zones, on escompte des létalités moyennes de 25 %, 87 % et 99 %.

Figure 22 : Ces zones à risque doivent être prises en compte (forme simplifiée).





La longueur et la largeur des zones à risque dépendent de différents paramètres. En se fondant sur les scénarios devant être pris en compte, il faut distinguer entre les variantes qui suivent :

- Libération avec terme source spontané, propagation sous forme de gaz lourd (voir figures 40 à 42, annexe A5)
- Libération avec terme source continu :
 - Propagation sous forme de gaz lourd, part d'aérosol dans le nuage, 80 % (voir figures 43 à 45, annexe A5)
 - Propagation sous forme de gaz neutre (pas d'aérosol dans le nuage) (voir figures 46 à 51, annexe A5)

Une certaine série de scénarios doit être évaluée en fonction du type d'installation (voir chapitre 4.4.1). La longueur et la largeur des zones à risque (R_1 , R_{50} , R_{99}) peuvent être déterminées selon le chapitre 4.4.2, sur la base des quantités libérées ou du taux de libération indiqués dans les figures susmentionnées.

4.5.2 Propagation dans des bâtiments où se tiennent un grand nombre de personnes

On appliquera les mêmes hypothèses que celles qui figurent au chapitre 2.3.

4.6 Estimation de l'ampleur des dommages

4.6.1 Indicateurs de dommages

Pour l'ammoniac, seul l'indicateur n1 « nombre de morts », selon les critères d'appréciation pour l'OPAM (Lit. [4]), est pris en compte.

4.6.2 Nombre de personnes présentes

Il convient de déterminer le nombre maximum de personnes pouvant être présentes dans les zones à risque. Ce faisant, il faut tenir compte des conditions cadres suivantes :

- Dans la prévention des accidents majeurs, les atteintes aux personnes ne doivent inclure que les personnes externes à l'entreprise.
- Pour les surfaces déjà délimitées mais non encore construites, il faut partir du futur nombre de personnes présentes. Les bases nécessaires pour ces estimations sont disponibles dans Lit. [9], chapitre 7).



- Le nombre maximum de personnes présentes qui doit être utilisé pour les considérations relatives au scénario le plus pessimiste doit être déterminé à l'aide des meilleures données disponibles sur la population résidente et sur les places de travail.²⁸⁾
Il convient ce faisant de vérifier si, outre la population résidente et les travailleurs, il y a lieu de prendre en compte d'autres personnes présentes dans la zone à risque (p. ex. centres commerciaux, écoles, terrains de sport, gares, etc.). Les données utilisées sur le nombre de personnes doivent être vérifiées à l'aide d'une visite des lieux et / ou d'entente avec l'exploitant ou la commune.
- D'une manière générale, il faut choisir le moment où le plus grand nombre de personnes pourraient être potentiellement exposées. En cas d'utilisations de durée limitée, mais pendant lesquelles un nombre nettement supérieur de personnes pourraient être exposées (p. ex. patinoires pendant des événements sportifs avec public), un tel scénario doit être envisagé, si l'ampleur des dommages serait alors a priori plus étendue qu'en dehors de ces heures.
- Pour la présence de la population résidente et des travailleurs en fonction de l'heure de la journée et de leur présence en plein air, les hypothèses ci-après se sont établies (Lit. [9]).

Tableau 6 : Facteurs de présence pour la population résidente et les travailleurs, en fonction de l'heure

Facteurs de présence	Population résidente	Travailleurs
Heure		
Jour ouvrable (7 à 19 h)	30 % présente, dont 10 % en plein air	80 % présents, dont 10 % (à 30 % ²⁹⁾) en plein air
Jour ouvrable, nuit (19 à 7 h)	90 % présente, dont 1 % en plein air	5 % présents, dont 5 % (à 30 % ²⁹⁾) en plein air
Week-end, jour (7 à 19 h)	60 % présente, dont 10 % en plein air	5 % présents, dont 10 % (à 30 % ²⁹⁾) en plein air
Week-end, nuit (19 à 7 h)	100 % présente, dont 1 % en plein air	0 % présents

28 Par exemple, les données géocodées du cadastre de l'Office fédéral de la statistique (mises à jour à la fin de chaque année pour la population résidente ; dernier recensement des entreprises pour les places de travail, actuellement 2008)

29 La part plus importante (30 %) de personnes se trouvant à l'extérieur doit être utilisée pour les bâtiments situés très près du lieu d'émission (distance jusqu'à R_{so}) et qui présentent simultanément un taux élevé de renouvellement d'air ; un exemple typique est un bâtiment utilisé à des fins industrielles.



S'il y a dans le voisinage des entreprises dont les facteurs de présence s'écartent fortement de la norme, ces valeurs doivent être adaptées à la situation concrète (p.ex. travail de nuit régulier, travail en équipes, etc. pendant 24 heures et 7 jours par semaine : 20 % des équipes présentes le jour et la nuit). Lit. [9]

Une fois que le nombre de personnes se trouvant en plein air dans la zone à risque aura été déterminé, Il convient dans tous les cas de s'assurer de la plausibilité de ce résultat.

- Pour les utilisations spéciales où le nombre de personnes présentes varie fortement dans le temps, il est recommandé de ne tenir compte que du nombre moyen qui est présent au moins une fois par semaine, et ce pendant au moins 1 heure³⁰⁾. Il est permis de supposer que les expositions maximales, rares, n'influent très probablement que peu sur le risque global dans le cadre d'une étude de risque, de manière qu'il n'est pas nécessaire d'en tenir compte au niveau du rapport succinct.
- Il ne faut pas inclure les passagers de voitures ou de trains qui roulent³¹⁾. Si une route affectée quotidiennement par des embouteillages se situe dans la zone à risque, les personnes prises dans les bouchons peuvent être comptabilisées. Pour ce faire, il convient d'apprécier la situation concrète. Les personnes attendant à la gare doivent en revanche être incluses.
- Il faut partir de la direction du vent qui aboutit au plus grand nombre de personnes présentes dans le secteur correspondant.
- Par souci de simplicité au niveau du rapport succinct, il ne faut pas tenir compte de la possibilité qu'ont les personnes exposées de fuir pour se mettre en sécurité. En contrepartie, on part d'un effet protecteur important des bâtiments pour les personnes qui se trouvent à l'intérieur (cf. plus bas).
- Pour les immeubles d'habitation et de bureau situés dans le voisinage, il est permis de n'escompter aucun décès lié à la libération d'ammoniac (c.-à-d. le bâtiment protège à 100 %, vu le taux très faible de renouvellement d'air ; à ce propos, voir annexe A4). Des différences sont possibles pour d'autres utilisations :
 - Les bâtiments industriels assurent une moins bonne protection contre les nuages de gaz se propageant à l'extérieur, car leur taux de renouvellement d'air est généralement plus élevé. Il en résulte que, pour les hypothèses posées pour ces bâtiments,

30 Pour toute l'année, on a une fréquence relative d'environ 0.6 %.

31 Les personnes se trouvant dans des moyens de transport en mouvement ne sont en règle générale exposées que pendant un bref laps de temps à des concentrations d'ammoniac faibles. Une voiture ou un train qui roule ne se trouve généralement que quelques secondes dans le nuage de gaz. Les fenêtres étant normalement fermées, l'enveloppe du véhicule assure une certaine protection : seule une faible quantité d'ammoniac peut parvenir à l'intérieur, par la ventilation. Il n'est pas possible d'exclure totalement la survenue d'accidents de la route en raison de la forte odeur d'ammoniac. Il est toutefois permis de partir de l'hypothèse que de tels événements jouent un rôle mineur.



l'ampleur des dommages pourrait être sous-estimée. Pour compenser ce facteur, il est possible de poser, pour les bâtiments industriels situés à proximité du lieu d'émission, qu'une part plus élevée du personnel se trouve en plein air, donc n'est pas protégée (cf. tableau 6). Des calculs ont montré que pour ces cas, une augmentation à 30 % du pourcentage du personnel supposé à l'extérieur, jusqu'à une distance de R_{50} , donne une ampleur des dommages comparable à ce qu'elle serait si l'on tenait compte d'une protection moindre du bâtiment.³²⁾

- La validité de ces hypothèses doit être vérifiée pour la situation particulière ; les utilisations sortant de l'ordinaire peuvent s'en écarter (p. ex. halle aux portes ouvertes en permanence). Si des personnes à l'intérieur de bâtiments sont incluses, la hauteur au-dessus du sol de l'endroit où elles se trouvent doit être prise en compte : pour les scénarios prévoyant une propagation de l'ammoniac sous forme de gaz lourd, les personnes se trouvant en hauteur sont nettement moins exposées.
- Si le terrain présente de grandes variations d'altitude, il est possible d'en tenir compte de façon appropriée (surtout pour les scénarios de propagation de l'ammoniac sous forme de gaz lourd).
- Si la propagation d'un nuage d'ammoniac à l'intérieur d'un bâtiment met en danger des personnes (centres commerciaux, hôpitaux, etc.), celles-ci doivent être prises en compte dans l'évaluation des dommages, par analogie au chapitre 2.3.

4.6.3 Détermination de l'ampleur des dommages

L'ampleur maximale des dommages doit être déterminée séparément pour les différents scénarios identifiés au chapitre 4.4.1. À cet effet, il faut multiplier les différents nombres de personnes présentes simultanément dans la zone à risque (cf. chapitre 4.5.1) par les létalités moyennes correspondantes, puis additionner les valeurs pour l'ensemble de la zone à risque.



5 Comparaison des systèmes de réfrigération



5.1 Quand une telle comparaison est-elle judicieuse ?

Si une installation frigorifique à l'ammoniac est soumise à l'OPAM, l'autorité d'exécution compétente doit évaluer l'ampleur du risque (rapport succinct) et demander au besoin des clarifications plus précises concernant le danger émanant de l'installation (étude de risque). Si ce risque est considéré comme trop important, l'autorité procède à une pesée des intérêts. Dans le cadre de cette dernière, il est possible d'examiner si le risque peut être réduit davantage encore en transformant l'installation pour en faire un autre type (cf. chapitre 1.1). Outre le danger lié à des événements de grande envergure, il faut tenir compte de divers autres critères déterminants pour la planification de nouvelles installations frigorifiques ou l'assainissement des anciennes.

Une comparaison systématique de différentes configurations permet aux autorités d'évaluer la situation d'une manière transparente et juste pour toutes les parties concernées. D'où la recommandation de soumettre à l'autorité chargée de l'exécution dans le domaine des accidents majeurs une comparaison simple et complète des différents systèmes envisageables. Ce document constituera une bonne base pour des discussions objectives entre autorités et exploitants. C'est pourquoi une telle comparaison doit être soumise à l'autorité d'exécution dans les cas suivants :

- Lorsque des atteintes graves sont possibles et qu'une étude de risque devrait être établie. Il se peut que cette dernière soit rendue superflue par le choix d'un autre type d'installation (présentant un potentiel d'accident majeur plus faible).



- Lorsque l'étude de risque indique un danger dans la zone de transition, à titre de base pour la pesée des intérêts par l'autorité.
- Lors du dépôt d'une demande de construire, à titre de base de discussion entre autorité et requérant.

Dans l'esprit d'une approche ouverte, il serait faux d'interdire d'une manière générale certains types d'installations. En effet, la démarche selon l'OPAM, fondée sur le risque, en tenant compte de l'état de la technique de sécurité, des risques spécifiques de l'emplacement (niveau RS ou ER) et d'autres conditions cadres, semble judicieuse dans ce cas également.

5.2 Envergure : permettre un aperçu global

La comparaison des systèmes doit donner à l'autorité un bref aperçu des principaux aspects afin qu'elle puisse évaluer globalement une installation frigorifique. Le document doit par conséquent être succinct, par exemple sous la forme de quelques remarques introductives et d'un tableau. Pour la compréhension générale du document, il faut également résumer les principales informations concernant la provenance des données utilisées.

En introduction, il convient d'exposer les conditions cadres propres à la situation, par exemple :

- Domaine d'utilisation
- Plage de températures
- Puissance frigorifique requise
- Place disponible ou nécessaire pour les parties d'installation prévues (en particulier dans le cas d'une transformation à l'intérieur d'un bâtiment existant)

Ensuite, d'autres variantes ou types d'installations doivent être comparées et évaluées selon les critères suivants :

1. Accident majeur (ampleur des dommages)
2. Sécurité au travail
3. Frais d'investissement et d'exploitation
4. Efficacité énergétique

Ci-après, nous revenons plus en détail sur ces différents points.

Conditions cadres propres à la situation

Traiter en détail les conditions cadres situationnelles (voir ci-dessus : domaine d'utilisation, plage de températures, etc.) déborderait le cadre du présent rapport. En effet, ces conditions varient énormément d'une installation à l'autre, et ne peuvent pas être résumées par de simples règles ou valeurs de référence. Il appartient par conséquent au planificateur spécialisé, dans le cadre de la planification concrète et conjointement avec le détenteur de l'installation, d'élaborer la meilleure solution pour le cas d'espèce, solution qui tienne dûment compte d'autres aspects également.



Accident majeur (ampleur des dommages)

Il faut décrire, qualitativement et spécifiquement pour l'entreprise concernée (cf. chapitre 1.1 et « Conditions cadres propres à la situation »), quelles répercussions le choix d'un autre type d'installation, réalisable sur le plan technique, aurait sur la prévention des accidents majeurs. S'il y a, dans le voisinage proche de l'installation, des objets sensibles où se tiennent de nombreuses personnes, des types d'installations utilisant des circuits secondaires (types 2 à 6, selon le domaine d'utilisation) peuvent être intéressants dans la perspective des accidents majeurs.

C'est pourquoi l'influence de différents types d'installations sur l'ampleur des dommages doit être décrite qualitativement, par exemple « réduction nette de l'ampleur potentielle des dommages, car l'école se situe dans la zone à risque pour la variante X, alors qu'elle se trouve en dehors de ce secteur pour la variante Y » ou « influe peu sur l'ampleur des dommages, en raison d'un très faible nombre de personnes présentes dans la zone à risque ». Cette évaluation peut se fonder simplement sur les critères appliqués pour décider de la nécessité de soumettre une installation (cf. chapitre 2) ou sur l'estimation de l'ampleur au niveau du rapport succinct (cf. chapitre 4).

Sécurité au travail

Les différences dans la sécurité au travail doivent être décrites sur le plan qualitatif. Il faut d'une manière générale examiner si du personnel d'exploitation se tient régulièrement dans des locaux où se situent des parties de l'installation contenant du fluide frigorigène. Ainsi, l'ammoniac a un effet toxique, mais son odeur intensive signale les petites fuites, alors que le CO₂ présente un risque d'asphyxie, sans signes perceptibles.

Frais d'investissement et d'exploitation

Ce point doit servir à estimer les conséquences que le choix d'un autre type d'installation aurait sur les frais d'investissement et d'exploitation. Le coût énergétique ne doit pas être pris en compte ici, puisqu'il est traité séparément à la section Efficacité énergétique.

Les frais d'entretien jouent généralement un rôle négligeable pour le choix d'un type d'installation, vu qu'ils sont quasi indépendants du fluide frigorigène utilisé et du type d'installation. La raison en est que les coûts les plus élevés sont le plus souvent liés à l'entretien du compresseur.

Il s'agit alors, sur la base des clarifications effectuées autour du critère « accident majeur » (ampleur des dommages), de mettre en relation les frais d'investissement et d'exploitation avec le coût global du projet de construction ou éventuellement le chiffre d'affaires annuel à l'emplacement prévu pour l'installation. Dans ce dernier cas, les frais d'investissement doivent être transformés en coûts annuels moyens, en s'aidant de la durée de vie escomptée.

Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique d'une installation frigorifique a des répercussions directes sur la consommation d'énergie. Les frais énergétiques, qui consti-



tuent une part significative des frais d'exploitation, en dépendent directement. Ce facteur sera par conséquent représenté sous la forme de la puissance et des coûts énergétiques annuels, pour différents types d'installation frigorifique. En complément, on indiquera les besoins énergétiques par unité de puissance frigorifique produite (degré de rendement).

5.3 Exemple schématique

Le tableau 7 montre comment procéder à la comparaison des systèmes pour différentes solutions entrant en ligne de compte pour une patinoire. Les conditions cadres situationnelles doivent être présentées séparément.

Tableau 7 : Exemple schématique d'une comparaison de systèmes : voici comment comparer différentes options envisageables pour une patinoire ouverte
(Exemple sans contenus spécifiques d'une installation).

Taux de libération	Proposition du détenteur	Variante A	Variante B
	Refroidissement direct du champ de glace au NH ₃	Refroidissement indirect au glycol 35 %	Refroidissement indirect au CO ₂
Accident majeur (ampleur des dommages)	(Indication qualitative)		
Sécurité au travail			
Coûts de construction par piste [CHF]	(Indication qualitative)		
Coût de construction global [CHF]			
* Investissement global Projet en cours [CHF]			
* Chiffre d'affaires sur le site [CHF]			
* Nombre d'emplois sur le site			
Besoins énergétiques [MWh/année]			
Frais énergétiques [CHF/année] (Base : x cts/kWh)			
Degré de rendement [%] ³³⁾			
Consommation énergétique relative patinoire ouverte	100 %	X %	Y %



Les points avec un * aident les autorités à estimer si les coûts d'éventuelles mesures seraient proportionnels. Il faut décider de l'utilité de ces différentes données, et donc s'il convient de les indiquer ou non, pour chaque projet ou installation spécifique. D'autres valeurs peuvent également figurer dans un tableau comparatif si elles semblent utiles.

Si les informations concernant l'un ou l'autre point ne sont pas encore connues en l'état actuel du projet, il est possible de laisser un blanc, en le motivant brièvement.

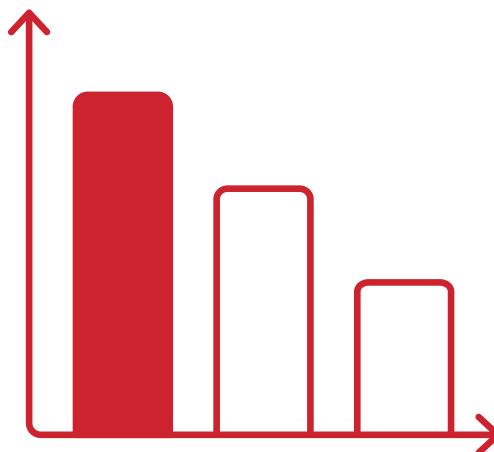
5.4 Interprétation : les adaptations permettent-elles d'atteindre les objectifs visés, sont-elles économiquement supportables et proportionnelles ?

La comparaison des systèmes s'inscrit dans une approche globale et a pour objet d'évaluer si d'éventuelles adaptations de la conception de l'installation amènent au but recherché, sont économiquement supportables et proportionnelles. Elle assure une considération nuancée des configurations possibles ainsi que des conséquences des différentes solutions sur différents aspects importants pour la planification et l'exploitation de l'installation.

Chaque installation est unique et doit être évaluée individuellement dans son contexte réel. Il n'est donc pas possible de décréter d'une manière générale que tel critère d'appréciation est plus important qu'un autre. Une comparaison de systèmes ne permet donc pas de faire une évaluation schématique, valable d'une manière générale, du genre « si ..., alors ... ». Il faut bien plus y voir un outil offrant une base de discussion uniforme et transparente pour le dialogue entre planificateur/détenteur et autorité, et qui aide cette dernière à trouver une solution équilibrée.



6 Étude de risque



6.1 But et ampleur

Le but de l'étude de risque est de vérifier si les risques émanant d'une installation sont supportables. Ce document repose sur les critères d'appréciation de l'OFEV (Lit. [4]). Les exigences relatives au contenu de cette étude sont énoncées sommairement dans l'annexe 4 de l'OPAM. Des explications plus détaillées sont fournies dans l'annexe A4 du manuel I de l'OPAM (Lit. [3]). L'étude de risque est divisée en quatre parties : données de base, analyse par unité d'investigation, conclusion et résumé. Dans l'intérêt d'une exécution efficace, l'expérience a montré qu'il était judicieux d'élaborer un cahier des charges avec l'autorité d'exécution ; y sont définis les exigences pour l'analyse, l'étendue et le degré de détail de l'étude. D'une manière générale, il est exigé que la démarche, les données de base, les hypothèses de travail ainsi que les résultats de l'étude soient documentés d'une façon claire et transparente.

Le résumé est destiné à l'information du public et l'autorité d'exécution le communique sur demande. Il doit par conséquent être formulé dans un langage compréhensible également pour les tiers.

6.2 Méthodologie

Ces dernières années, la méthode de l'analyse des erreurs et par arbre d'événements a fait ses preuves pour les études de risque dans le domaine de la prévention des accidents majeurs. Le résultat doit être présenté sous la forme d'une courbe cumulative des risques. La procédure est décrite dans l'annexe A4 du manuel I de l'OPAM (Lit. [3]).



6.3 Types d'événements à examiner

6.3.1 Propagation d'un nuage toxique

Les scénarios à utiliser dans l'étude de risque pour les effets toxiques de l'ammoniac sont les mêmes que ceux qui sont décrits pour le rapport succinct au chapitre 4.4.1.

En plus des analyses faites pour ce dernier, il convient ici d'envisager qu'un incident survient à différents moments, heures auxquelles des nombres différents de personnes sont présentes dans la zone à risque. Par exemple, jour / nuit, jour ouvrable / week-end, circulation aux heures de pointe, événements spéciaux, etc.

6.3.2 Pollution des eaux

Les atteintes aux eaux prenant des proportions d'accident majeur en rapport avec des installations frigorifiques utilisant de l'ammoniac ne sont généralement pas une préoccupation de premier plan (cf. chapitre 4.2.2).

6.3.3 Explosion

Des scénarios impliquant des explosions ne sont examinés que dans des cas motivés pour la prévention des accidents majeurs en rapport avec des installations frigorifiques utilisant de l'ammoniac (cf. chapitre 4.2.3).

6.4 Bases pour la détermination de la fréquence

Les bases indiquées ci-après peuvent être utilisées pour déterminer des fréquences générales de différents événements ou pannes. La liste n'est pas exhaustive.

Pannes de composantes techniques

- Center for Chemical Process Safety (1989) : Guidelines for Process Equipment Reliability Data. With Data Tables. American Institute of Chemical Engineers.
- VROM (2005) : « Red Book ». Methods for determining and processing probabilities. La Haye.

Mauvaises manipulations

Il n'est pas aisé d'exprimer sous la forme d'un chiffre généralement valable la fréquence des erreurs humaines. En effet, ce facteur dépend dans une large mesure du contexte concret (exigences organisationnelles, culture de sécurité, conditions techniques, etc.). Il existe néanmoins des modèles qui tentent une quantification, par exemple :

- F.P. Lees (1996) : Loss Prevention in the Process Industries. Hazard Identification, Assessment and Control. Volume 1. Butterworth Heinemann.



- VROM (2005) : « Red Book ». Methods for determining and processing probabilities. La Haye. (Chapitre 14)

Chute d'avion

La chute d'un gros porteur entraîne des dégâts tels qu'une libération d'ammoniac causée par l'accident influe de façon insignifiante sur l'ampleur des dommages. Pour les scénarios pris en compte, il ne faut par conséquent considérer comme facteur déclenchant que la chute de petits avions, d'hélicoptères ou de jets militaires.

Selon le concept de sécurité de l'administration fédérale civile de 1996, la probabilité de chute d'avion moyenne en Suisse peut être estimée à 3×10^{-10} / ($m^2 \times an$). Dans le prolongement des pistes de décollage et d'atterrissage, sur une distance d'environ 3 km, la probabilité d'impact est approximativement 100 fois plus grande que la moyenne. L'étude à la base de ces chiffres (Lit. [28]) est cependant relativement vieille et le nombre d'accidents d'avion est en léger recul selon l'Office fédéral de la statistique. Il faut par conséquent partir du principe que ces valeurs sont plutôt prudentes. Lors de l'évaluation d'installations spécifiques, il convient en outre de tenir compte de différents aspects supplémentaires :

- L'étude susmentionnée inclut tous les types d'aéronefs, donc aussi les ballons par exemple. Selon la structure du bâtiment abritant l'installation frigorifique, l'énergie d'impact n'est pas toujours suffisante pour entraîner une libération d'ammoniac. Il convient de tenir compte de ce fait par un facteur de correction pour la construction de l'installation.
- Les petits avions sont en partie frappés d'une interdiction de vol dans les environs des grands aéroports.
- Si une chute semble imminente, le pilote tentera toujours un atterrissage d'urgence sur une surface relativement sûre, par exemple une grande route, un pré ou une surface agricole. Tant que l'avion est manœuvrable, il fera tout ce qui est en son pouvoir pour éviter une collision avec des bâtiments. La base statistique de la probabilité de chute doit être adaptée à cette réalité en fonction de la situation.

Informations générales sur le trafic aérien et les accidents d'avion en Suisse :

- Office fédéral de la statistique (OFS) (2013) : Mobilité et transports. Aviation civile suisse 2016. Neuchâtel.

Fréquence des chutes d'avion :

- Office fédéral de la statistique, divers e-dossiers sous le mot-clé « trafic aérien »
<https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/mobilitate-transports/enquetes/avia-lc.html>
- Office fédéral de l'aviation civile (OFAC), Office fédéral des aéroports militaires (OFAEM) (1993) : Die Auswirkungen der Luftfahrt auf die Umwelt – Teilbericht Absturzrisiken (en allemand). Élaboré par Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zurich.



Tremblements de terre

La base la plus importante pour l'évaluation sismique en Suisse et la norme SIA 261/1.

- Société suisse des ingénieurs et architectes (SIA) (2003) :
Actions sur les structures porteuses. Norme suisse SN 505 261.

Le séisme de référence pour les constructions est un événement ayant une période de récurrence de 475 ans. Des valeurs d'accélération au sol sont indiquées pour différentes zones sismiques de Suisse :

$$Z1 : a_{gd} = 0.6 \text{ m/s}^2$$

$$Z2 : a_{gd} = 1.0 \text{ m/s}^2$$

$$Z3a : a_{gd} = 1.3 \text{ m/s}^2$$

$$Z3b : a_{gd} = 1.6 \text{ m/s}^2$$

Le sol local peut influencer de manière décisive sur la magnitude sismique. Il est par conséquent pris en compte par le biais de facteurs de correction. Pour certaines régions, il existe en outre des « microzonages », qui permettent d'estimer plus précisément le danger local. Lorsqu'elles sont disponibles, ces données peuvent être prises en compte également.

Le tracé spatial des zones sismiques figure sur les cartes de Swisstopo :

- <http://map.geo.admin.ch/>; Couche « Zones sismiques »

Les données générales sur la magnitude des séismes en Suisse en relation avec différentes périodes de récurrence statistique ont en outre été documentées par le Service sismologique suisse :

- Service sismologique suisse (SED) (2004) :
Seismic Hazard Assessment of Switzerland, 2004. Zurich.

Les séismes (faibles) n'entraînent pas automatiquement une libération de substances d'installations techniques. Différents documents aident à estimer la probabilité que des émissions se produisent dans une installation suite à des tremblements de terre de différentes intensités :

- H.A. Seligson, R.T. Eguchi, K.J. Tierney, K. Richmond (1996) : Chemical Hazards, Mitigation and Preparedness in Areas of High Seismic Risk : A Methodology for Estimating the Risk of Post-Earthquake Hazardous Materials Release, Technical Report NCEER-96-0013, Buffalo NY, USA.
- Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) (2012) : Leitfaden. Der Lastfall Erdbeben im Anlagenbau. Francfort.
- Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) (2012) : Erläuterungen zum Leitfaden. Der Lastfall Erdbeben im Anlagenbau. Francfort.



Autres dangers naturels

Les cartes des dangers cantonales permettent de savoir s'il y a lieu d'es-compter d'autres dangers naturels pour le site considéré. Beaucoup de can-tons mettent ces cartes à disposition en ligne, sur leur portail SIG. Il existe une compilation des liens vers ces portails sur le site Web de la Conférence des services cantonaux de géoinformation.

— <http://kkgeo.ch/fr/geoportails/guichet-cartographique-des-can-tons.html>

6.5 Quantité libérée ou taux de libération

Libération continue

Au niveau étude de risque, les taux de libération doivent être calculés sur la base des conditions d'exploitation réelles (température, pression, diamètre des conduites). Les scénarios doivent envisager des fuites de 2 à 3 tailles différentes (p.ex. rupture totale, petites fuites selon un modèle tiré de Lit. [27] (chapitre 2.3.3). Le choix des tailles des fuites doit être motivé. Pour simplifier le calcul, on part d'un taux de libération constant. Dans l'étude de risque, il est permis de tenir compte du fait que la quantité émise peut être réduite par des mesures de sécurité, des soupapes à fermeture rapide par exemple. Les hypothèses posées doivent être documentées et motivées.

Le taux de libération Q_t à partir d'une conduite transportant du liquide peut par exemple être calculé à l'aide de la formule suivante (Lit. [26], p. 31 et p. 8 ; diffusion biphasée) :

$$Q_t = F \times \left(\frac{A \times \Lambda}{\frac{1}{\rho_g} - \frac{1}{\rho_l}} \right) \times (T_s \times c_{pl})^{-\frac{1}{2}}$$

Explication

A	[m ²]	Section transversale de la fuite en cas de rupture totale de la conduite
A	1.17 × 10 ⁶ J/kg	Chaleur de vaporisation latente de l'ammoniac
ρ_g	[kg/m ³]	Densité du gaz dans l'inst. (dépend de la pression et de la température)
ρ_l	[kg/m ³]	Densité du liquide dans l'inst. (dépend de la pression et de la température)
T_s	[K]	Température de l'ammoniac liquide
c_{pl}	4.49 × 10 ³ J/(kg K)	Capacité thermique spécifique de l'ammoniac

**Facteur de correction**

F	[]	Facteur de correction tenant compte du rapport entre la section transversale de la conduite D [m] et la longueur de la conduite jusqu'à l'emplacement de la fuite L_p [m]. Plus la distance est grande, plus le facteur de correction est faible et donc aussi les taux de libération
---	-----	---

Variation du facteur F en fonction de L_p/D :	L_p/D	0	50	100	200	400
	F	1	0.85	0.75	0.65	0.55

Vous trouverez d'autres bases pour le calcul du taux de libération notamment dans les ouvrages suivants : Lit. [26] (pp. 29 ss) ou Lit. [27] (pp. 3 à 6 ss).

Libération spontanée dans la zone du séparateur

La libération spontanée suppose la défaillance complète d'un conteneur. Dans un tel cas de figure, le contenu est libéré d'un coup. Le reste de la substance contenue dans l'installation s'échappe en continu par la brèche créée. Le terme source d'une libération spontanée ne devrait par conséquent être qu'une quantité importante d'ammoniac solidaire, par exemple le contenu d'un réservoir de condensat, mais pas la totalité du contenu de l'installation.

6.6 Propagation du nuage de gaz

La propagation de l'ammoniac libéré doit être déterminée à l'aide de modèles établis. Il existe différentes solutions informatiques pour ce faire, par exemple EFFECTS de TNO, Trace de SAFER System, SLAB View de Lakes Environmental, HGSYSSTEM de Shell Research Thornton, FDS, etc.

Les valeurs des paramètres utilisés dans les calculs de propagation doivent être fixées sur la base des conditions locales. D'une manière générale, il est judicieux d'appliquer les mêmes paramètres qu'au niveau du rapport succinct (voir annexe A5). Mais il faudra vérifier, pour la situation concrète, si cette option est la bonne pour l'étude de risque. Les écarts par rapport à ce principe doivent être documentés et motivés.

6.7 Estimation de l'ampleur des dommages

Pour les indicateurs de dommages, le modèle de létalité et le nombre de personnes présentes, ce sont d'une manière générale les mêmes données que celles du chapitre 4, pour le rapport succinct, qui sont valables. Nous ne nous attacherons donc qu'aux compléments d'information et aux écarts par rapport au rapport succinct.



6.7.1 Létalités moyennes

Il convient d'appliquer les mêmes principes que pour le rapport succinct (cf. chapitre 4.5).

6.7.2 Nombre de personnes présentes

Au niveau de l'étude de risque, il faut distinguer entre différentes plages, avec différents nombres de personnes présentes, en tenant compte aussi de la fréquence de ces situations, par exemple, jour / nuit, jour ouvrable / week-end, circulation aux heures de pointe, événements spéciaux, etc. – à ce propos, voir aussi le chapitre 4.6.

6.7.3 Taux de fuite pour les personnes en plein air

Dans l'étude de risque, le comportement de fuite des personnes exposées peut être pris en compte dans une mesure appropriée. Selon Lit. [10], les principes suivants s'appliquent aux taux de fuite :

- L'ammoniac a un seuil olfactif bas de 5 ppm et il est par conséquent perceptible avant que le seuil toxique ne soit atteint. Les personnes exposées peuvent généralement quitter la zone à risque plus vite que le gaz d'ammoniac ne se propage.
- Certaines personnes ont toutefois une mobilité restreinte (personnes âgées ou handicapées, enfants en bas âge). Elles ne pourront peut-être pas fuir à temps.
- Plus la quantité d'ammoniac libérée par unité de temps est importante, plus le taux de fuite est bas. Ces derniers sont donc tendanciellement plus faibles pour le terme source spontané que le terme source continu.

Pour les personnes en plein air, on peut par conséquent supposer les taux de fuite suivants :

- Terme source spontané : 60 % des personnes concernées peuvent fuir à temps.
- Terme source continu : 80 % des personnes concernées peuvent fuir à temps.

Il convient d'évaluer, pour la situation concrète, si les personnes quitteront la zone à risque ou si elles s'abriteront simplement dans des bâtiments voisins, où des atteintes à des personnes sont possibles (cf. chapitre 6.7.5.).



6.7.4 Atteintes à des personnes dans un bâtiment contenant une installation frigorifique

Il est permis de partir du principe que les atteintes à des personnes se trouvant à l'intérieur d'un bâtiment contenant une installation frigorifique ne modifient pas notablement l'ampleur des dommages³⁴). Les installations frigorifiques situées dans un bâtiment sont en outre séparées des endroits où se tiennent un grand nombre de personnes. Les bâtiments accessibles au public peuvent constituer des exceptions à cette règle, par exemple des patinoires, des parkings, etc. Les points de réflexion ci-dessous doivent permettre de déterminer dans quelle mesure des personnes ne faisant pas partie de l'entreprise peuvent être atteintes dans le bâtiment.

- Est-il plausible que du gaz se propage dans des parties du bâtiment où se trouve un grand nombre de personnes ?
- Les personnes sont-elles stationnaires dans le local potentiellement exposé ou y transitent-elles les unes après les autres, de manière qu'elles sentiraient la forte odeur au moment d'entrer ?
- Pour les grandes halles avec tribunes/galeries : faut-il s'attendre à ce que l'ammoniac se comporte comme un gaz lourd et envahisse lentement l'espace de bas en haut ?
- À quelle vitesse l'espace concerné se remplit-il d'ammoniac ?
- Combien de temps faut-il pour que toutes les personnes aient quitté l'espace ?
- Existe-t-il un système d'alarme permettant de déclencher rapidement une évacuation du bâtiment ?
- Les chemins de fuite et les issues de secours sont-ils placés de manière que les personnes quittant les lieux puissent éviter l'endroit par où l'ammoniac envahit le local ou doivent-elles traverser le nuage pour fuir ?
- Etc.

6.7.5 Protection assurée par les bâtiments voisins pour les personnes s'y trouvant

L'effet protecteur de l'enveloppe des bâtiments voisins pour les personnes qui s'y tiennent doit être examiné plus en détail dans l'étude de risque qu'il ne l'avait été pour le rapport succinct. Cet effet dépend en particulier des facteurs suivants :

- Aération naturelle ou mécanique du bâtiment
- Taux de renouvellement d'air (perméabilité naturelle de l'enveloppe du bâtiment, ventilation mécanique, aération passive par l'ouverture de fenêtres ; à ce propos, voir annexe A4)



- La hauteur du bâtiment (spécialement en cas d'aération naturelle et de propagation de l'ammoniac sous forme de gaz lourd)
- Hauteur et disposition des ouvertures de l'aération mécanique
- Durée de passage du nuage
- Durée de séjour de la personne dans le bâtiment ³⁵⁾

On part d'une manière générale du principe que les personnes se trouvant dans les bâtiments du voisinage ne fuient pas à l'extérieur. En effet, le nuage d'ammoniac est bien visible et il y a une odeur âcre (en cas de concentration critique) nettement plus agressive en plein air qu'à l'intérieur d'un bâtiment.

Étant donné que le taux de létalité n'est pas une fonction linéaire de la concentration, la protection assurée par les bâtiments croît avec l'éloignement du lieu d'émission. Cette protection peut être estimée sur la base de la concentration en ammoniac en plein air et du taux de renouvellement d'air du bâtiment (cf. annexe A4). Il est possible de procéder selon la démarche esquissée dans le tableau 14 (annexe A4). Cette protection peut également être déterminée pour le cas spécifique, en tenant compte d'autres aspects, tels que la hauteur du bâtiment. La dérivation des valeurs de base utilisées doit dans tous les cas être documentée de manière intelligible.

35 Le séjour dans un bâtiment pendant le passage du nuage offre une bonne protection par comparaison au séjour en plein air. Une fois que le nuage a passé, il faudrait quitter le bâtiment et bien l'aérer.

Glossaire

Écart de température	L'écart de température est un paramètre utilisé pour le dimensionnement des échangeurs de chaleur. Il indique la différence de température entre le fluide frigoporteur et le fluide frigorigène vaporisé, ou entre la sortie du fluide caloporteur et la température de condensation. Plus cette différence est faible, plus l'efficacité énergétique de l'installation est grande, car il faut moins d'énergie pour le compresseur. D'un autre côté, il faut compenser cet écart de température plus faible par des surfaces plus grandes pour l'échange de chaleur, ce qui requiert plus de fluide frigorigène.
Fluide frigorigène	Désigne la substance chimique ou le mélange, dont la compression ciblée (échauffement) et la détente (refroidissement) permettent de générer une puissance calorifique. Dans le présent rapport, le terme fluide frigorigène désigne avant tout l'ammoniac et le CO ₂ .
Système à circuit unique	Désigne une machine frigorifique où la production de froid, la consommation de froid et le refroidissement sont assurés par un seul circuit de fluide frigorigène (type 1 selon chapitre 1.1).
Système à deux circuits	Désigne une machine frigorifique où la consommation de froid et/ou le refroidissement ne se font pas directement par le fluide frigorigène, mais par le biais d'un frigoporteur ou d'un caloporteur secondaire (types 2, 3 et 5 selon chapitre 1.1).
Circuit primaire	Désigne la partie de la machine frigorifique qui contient le fluide frigorigène. Dans les installations pertinentes en matière de prévention des accidents majeurs, il s'agit en règle générale de la partie contenant l'ammoniac.
Circuit secondaire	Désigne la partie de la machine frigorifique qui est exploitée avec un autre frigoporteur ou caloporteur que le fluide frigorigène à proprement parler, par exemple un mélange glycol/eau ou du CO ₂ . L'échange d'énergie entre les circuits secondaire et primaire se fait à l'aide d'un échangeur de chaleur.
Refroidissement	<p>L'exploitation d'une machine frigorifique produit de la chaleur, en raison du système même et des pertes d'énergie. Cette chaleur est généralement évacuée dans l'environnement, par le biais du refroidissement. L'installation de refroidissement se trouve donc le plus souvent sur le toit ou montée sur une façade extérieure. Il existe différentes options techniques pour les systèmes de refroidissement. (Voir à titre d'exemples le « condenseur hybride » ou le « condenseur à évaporation »).</p> <p>Le refroidissement est parfois assuré par des eaux souterraines ou superficielles. Cet échange peut se faire directement ou par le biais d'un circuit secondaire.</p>
Condenseur à évaporation	Désigne un type de condenseur spécifique. En l'occurrence, la surface de l'échangeur de chaleur est aspergée avec de l'eau. L'air extérieur est ainsi refroidi adiabatiquement, ce qui réduit la température de condensation.

Condenseur hybride Désigne un type de condenseur spécifique. Lorsque la température environnante est basse, le refroidissement peut être assuré directement par l'air ambiant. Lorsque la température est plus élevée, la surface de l'échangeur de chaleur est en plus aspergée avec de l'eau (comme pour le condenseur à évaporation).

Terme source Le terme source est un paramètre nécessaire pour les calculs de propagation. Il décrit en premier lieu la quantité de substance émise, avec précision de l'intervalle pendant lequel se produit la libération.

Abréviations importantes

OFEV	Office fédéral de l'environnement
OPAM	Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs (ordonnance sur les accidents majeurs) (Lit. [1]) Elle repose sur la loi suisse sur la protection de l'environnement.
CARAM	Cadastre fédéral des risques selon l'OPAM. L'OFEV y saisit toutes les entreprises soumises à l'OPAM ainsi que des informations choisies les concernant.
HFC	Hydrofluorocarbures partiellement halogénés. Ces substances sont utilisées notamment comme fluides frigorigènes. Depuis l'entrée en vigueur de l'ORR-Chim, les HFC ne sont toutefois plus autorisés que pour les installations ayant une faible puissance frigorifique.
ORRChim	Ordonnance sur la réduction des risques liés à l'utilisation de substances, de préparations et d'objets particulièrement dangereux (ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques) (Lit. [2]).

Bibliographie

- Lit. [1] **Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs (ordonnance sur les accidents majeurs, OPAM)**
RS 814.012
27.2.1991
- Lit. [2] **Ordonnance sur la réduction des risques liés à l'utilisation de substances, de préparations et d'objets particulièrement dangereux (ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques, ORRChim)**
RS 814.81
18 mai 2005 (état le 3 janvier 2013)
- Lit. [3] Office fédéral de l'environnement (OFEV)
Manuel I de l'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM)
2008
- Lit. [4] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP, actuel OFEV)
Critères d'appréciation relatifs à l'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM)
1996
- Lit. [5] Office fédéral de l'environnement (OFEV)
Seuils quantitatifs selon l'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM)
Liste des substances et préparations.
2006
- Lit. [6] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP, actuel OFEV)
Ausmasschätzung von Ammoniak-Freisetzungen. Grundlagen und Annahmen.
Établi par Ernst Basler + Partner AG, 2003
- Lit. [7] Office fédéral de l'environnement (OFEV)
Installations contenant des fluides frigorigènes stables dans l'air.
Instructions concernant l'autorisation obligatoire pour les installations contenant plus de 3 kg de fluides frigorigènes stables dans l'air.
2009
- Lit. [8] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP),
groupe de travail Flüssiggas-Tankanlagen
Rahmenbericht Flüssiggas-Tankanlagen zum Kurzbericht und zur Risikoermittlung im Hinblick auf die Störfallvorsorge
Établi par Basler & Hofmann AG, 1992
- Lit. [9] Industrie gazière suisse
Sécurité des installations de gaz naturel à haute pression. Rapport-cadre de l'estimation de l'ampleur des dommages et de l'étude de risque standardisées
Révision 2010
- Lit. [10] OFEFP, Groupe de travail Ammoniac
Methodikbeispiel einer Risikoermittlung für die Ammoniak-Kälteanlage einer Kunsteisbahn
Établi par Basler & Hofmann AG, 1999 (projet/non publié)

- Lit. [11] Sanitätsdepartement des Kantons Basel-Stadt,
Kontrollstelle für Chemie- und Biosicherheit (KCB)
**Leitfaden für die Beurteilung von Ammoniak-Kälteanlagen.
Methodik und Fallbeispiel.**
Ernst Basler + Partner AG, deuxième édition remaniée, juillet 2000
- Lit. [12] Compagnie suisse de réassurance
DispTool
Manuel, Zurich, 1990
- Lit. [13] Dr. B. Covelli, Prof. Ph. Rudolf von Rohr
NH₃-Unfall im Bevorratungsraum
EPF Zurich, Institut für Verfahrenstechnik, avril 1998
- Lit. [14] TNO – The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research
Methods for the determination of possible damage, CPR 16E
1992
- Lit. [15] TNO – The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research
EFFECTS. Modelling the effects of accidental release of hazardous substances
Version 8.1.6, 2011
- Lit. [16] Ineris
Ammonia. Large-scale atmospheric dispersion tests
Work Study. 20.12.2005
- Lit. [17] Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (BMUJF, Österreich)
Referenzszenarien zur Richtlinie 96/82/EG
1999
- Lit. [18] U.S. Environmental Protection Agency,
Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office
**Technical Background Document for Offsite Consequence Analysis
for Anhydrous Aqueous Ammonia, Chlorine, and Sulfur Dioxide.
Appendix E : Supplemental Risk Management Program Guidance
for Ammonia Refrigeration Facilities.**
1999
- Lit. [19] Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung IFA
GESTIS-Stoffdatenbank
[http://www.dguv.de/ifa/Gefahrstoffdatenbanken/GESTIS-Stoffdatenbank/
index.jsp](http://www.dguv.de/ifa/Gefahrstoffdatenbanken/GESTIS-Stoffdatenbank/index.jsp)
- Lit. [20] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
TRAS 110 – Sicherheitstechnische Anforderungen an Ammoniak-Kälteanlagen
Édition : novembre 2014
- Lit. [21] SNV – Fédération suisse de normalisation
**SN EN 378-1. Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur –
Exigences de sécurité et d'environnement – Partie 1 :
Exigences de base, définitions, classification et critères de choix**
Édition : 2012-10 (en allemand et en anglais)

- Lit. [22] SNV – Fédération suisse de normalisation
SN EN 378-2. Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d’environnement – Partie 2 : conception, construction, essais, marquages et documentation
Édition : 2012-08 (en allemand et en anglais)
- Lit. [23] SNV – Fédération suisse de normalisation
SN EN 378-3. Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d’environnement – Partie 3 : installation in situ et protection des personnes
Édition : 2012-08 (en allemand et en anglais)
- Lit. [24] SNV – Fédération suisse de normalisation
SN EN 378-4. Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d’environnement – Partie 4 : fonctionnement, maintenance, réparation et récupération
Édition : 2012-08 (en allemand et en anglais)
- Lit. [25] Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail (CFST)
Directive CFST n° 6507. Ammoniac. Entreposage et manipulation.
Édition août 1995
- Lit. [26] American Institute of Chemical Engineers (AIChE),
Center for Chemical Process Safety
Workbook of Test Cases for Vapor Cloud Source Dispersion Models.
1989.
- Lit. [27] Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA)
Statuspapier Quelltermberechnung bei störungsbedingten Stoff- und Energiefreisetzungen in der Prozessindustrie – Methodenübersicht und industrielle Anwendung.
2012
- Lit. [28] H.P. Balfanz, M. Hein, P. Wietfeldt
Ermittlung der Trefferwahrscheinlichkeit durch abstürzende Flugzeuge
dans « Technische Überwachung » TÜ 23, n° 3, mars 1982.

A1 – Exemples d'accidents

La centrale d'alarme et d'évaluation des accidents majeurs (Zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen [ZEMA]) de l'office allemand de l'environnement a analysé 29 événements soumis à l'obligation d'annoncer survenus entre 1993 et 2013.

Causes

Cette analyse a révélé que 59 % des libérations de substances ont eu lieu dans la salle des machines, dont 28 % lors de travaux de maintenance et de réparation. En l'occurrence, les parties d'installation défectueuses étaient les condenseurs dans 28 % des cas. Si 41 % des événements étaient la conséquence de pannes techniques d'appareils ou d'armatures, 38 % ont pu être imputés à l'erreur humaine (erreurs dans l'utilisation ou l'organisation, travaux de réparation mal faits). Des entreprises extérieures étaient impliquées dans 28 % des événements. La corrosion était à l'origine de 10 % des événements.

Domages

Il n'y a eu mort d'homme dans aucun des événements. Néanmoins, la totalité des incidents a causé des blessures à 51 personnes à l'intérieur des entreprises et à 54 personnes à l'extérieur. Plus de 1130 personnes se sont plaintes de nuisances olfactives.

Constat

Il convient, d'une manière générale, d'assurer que les installations respectent l'état de la technique de sécurité, de faire régulièrement des contrôles et des révisions des composantes critiques du système. Les travaux de maintenance doivent toujours être accomplis par du personnel qualifié ; la documentation sur l'installation et les instructions doivent être tenues à jour à cet effet. En outre, des dispositifs d'arrêt d'urgence doivent être disposés en dehors de la zone à risque. Des contrôles de fonctionnement réguliers s'imposent pour les composants pertinents en matière de sécurité.

Source : évaluation du ZEMA des installations frigorifiques à l'ammoniac, état en novembre 2013 (annexe de Lit. [20]).

A2 – Évaluation d'études de risque et de rapports succincts existants

Plusieurs rapports succincts et études de risque relatifs à des installations frigorifiques à l'ammoniac ont été établis ces dernières années. Pour obtenir une image générale de la pratique courante dans l'établissement de ces documents, une sélection a été analysée. Le choix englobe différents domaines d'utilisation, plusieurs cantons et différents auteurs.

Bases

- Un total de 11 études de risque, relatives à des installations frigorifiques industrielles (7) et des patinoires (4), avec des quantités d'ammoniac situées entre 1200 et 16 000 kg, établies dans différents cantons entre 1995 et 2012.
- Un total de 4 rapports succincts, relatifs à des installations frigorifiques industrielles (2), une patinoire et une pompe à chaleur, avec des quantités d'ammoniac situées entre 800 et 1900 kg, établies dans différents cantons entre 2001 et 2013.

Évaluation des principaux paramètres

On constate un degré de différenciation très variable entre les différents rapports examinés. Certains auteurs s'appuient fortement sur le projet (jamais entré en vigueur) du document « Methodikbeispiels einer Risikoermittlung für die Ammoniak-Kälteanlage einer Kunsteisbahn » de 1999 (Lit. [10]). D'autres se réfèrent à des documents différents. Nous résumons ci-après les principales hypothèses de base qui ont été utilisées dans les documents évalués.

Tableau 8 : Études de risque et rapports succincts : plages utilisées pour les paramètres de libération, de propagation et d'effets sur les personnes

Hypothèses dans les études de risque et les rapports succincts évalués

Libération

Contenu de l'installation	Entre 800 et 2 000 kg (rapports succincts) et entre 1200 et 16 000 kg (études de risque), la majeure partie des installations examinées contenant entre 2 000 et 10 000 kg d'ammoniac.
Lieu de libération	Très important degré de différenciation entre les documents analysés. Certains contiennent un scénario pour la libération spontanée, un pour la libération continue et un autre encore pour une faible libération continue ; certains envisagent de très nombreux scénarios pour les libérations émanant de conduites, pour les conditions de pression et de températures les plus variables, la forme liquide ou gazeuse, etc.
Type de libération	Distinction entre « continu » et « spontané ».
Quantité libérée	Dépend de l'installation et du scénario concerné. Quantité maximale attestée, env. 2 400 kg ; en règle générale, quelques centaines de kg. Pour la propagation en plein air, le terme source continu a parfois été utilisé aussi pour la libération spontanée. Des scénarios considérant une libération de très faibles quantités ont parfois été considérés.
Taux de libération	Le plus souvent entre 1 et 5 kg/s. Dans quelques rares cas, des valeurs extrêmes jusqu'à 14 kg/s.
Part d'évaporation instantanée (flash) ³⁶⁾	0 à 100 % en fonction du scénario.
Durée de libération	En majorité entre 3 et 5 min, parfois jusqu'à 30 min.

Propagation

Logiciels pour calculer la propagation	Un grand nombre d'outils de calcul différents sont utilisés. Cette diversité illustre notamment le développement technologique de ces 15 dernières années. Par ex. EFFECTS de TNO, Trace de SAFER System, SLAB View de Lakes Environmental, HGSYSSTEM de Shell Research Thornton, FDS.
Classe de stabilité météorologique	On part de la classe de stabilité météorologique D (neutre) selon le modèle Pasquill-Gifford ; dans passablement de cas aussi la classe F (très stable).
Vitesse du vent	Les valeurs utilisées se situent entre 0,5 et 5 m/s. Dans un seul cas, extrême, une vitesse supérieure de 16 m/s a été utilisée pour l'un des scénarios.

36 La part d'évaporation instantanée désigne la part d'ammoniac qui s'évapore spontanément en cas de libération et qui se propage ensuite sous forme gazeuse.

Modèle de propagation	Pour la moitié des évaluations, c'est le modèle du gaz lourd qui a été utilisé, pour l'autre, celui du gaz neutre.
Humidité de l'air	Dans les cas où la valeur utilisée a été documentée, il s'agit presque toujours de 70 %, sauf dans un seul, où les auteurs ont déterminé une valeur locale, statistique, soit 79,3 %.
Effets sur les personnes	
Indicateur de dommages	Presque systématiquement n1 « morts » ; n2 « blessés » dans quelques rares cas seulement.
Origine des données sur les personnes présentes	Lorsque la source des données est explicitement documentée, ces informations reposent souvent sur une estimation faite lors d'une visite sur le terrain ainsi qu'aux indications reçues du détenteur de l'installation et de la commune.
Taux de fuite	Valeurs souvent proches de 70 % ³⁷⁾ , (plage entre 50 et 90 %). Dépend cependant fortement de la situation et de l'affectation, avec des différences extrêmes ; valeurs allant de 0 à 100 %.
Protection par le bâtiment	Lorsqu'il est explicitement indiqué, 50 à 100 % ³⁸⁾
Concentration entraînant une atteinte à la santé	Les valeurs utilisées sont très variables. En partie dérivées de calculs Probit (paramètres Probit systématiquement selon TNO), valeurs en partie reprises d'AEGL-2 et AEGL-3.

37 Un taux de fuite de 70 % par exemple signifie que 70 % des personnes exposées peuvent se mettre en sécurité, autrement dit que le nombre de morts est réduit d'un facteur 0,3 (= 1 - 0,7), du fait de la prise en compte des possibilités de fuite.

38 Une protection par le bâtiment de 70 % par exemple signifie que la létalité pour les personnes qui, selon le modèle, se trouvent à l'intérieur d'un bâtiment au moment de l'événement est réduite d'un facteur 0,3 (= 1 - 0,7).

A3 – Dérivation des critères pour soumettre les installations

Cette annexe documente les bases, les hypothèses et les calculs servant à dériver les critères pour soumettre les installations.

Propagation de l'ammoniac

Paramètres de libération et de propagation

Le chapitre 2 propose une procédure permettant de déterminer si une installation frigorifique spécifique fonctionnant à l'ammoniac doit être soumise à l'OPAM, bien que le seuil quantitatif de 2 t ne soit pas atteint. Cette procédure repose sur des calculs de propagation pour différents scénarios définis. Les hypothèses et les paramètres de départ sont décrits ci-dessous (certains d'entre eux se réfèrent spécifiquement au modèle utilisé, « Effects » ; Lit. [15]).

Tableau 9 : Les calculs de propagation déterminant les critères pour soumettre une installation reposent sur ces paramètres.

Calculs de propagation	
Paramètre	Explication
Modèle de propagation du gaz lourd	Les de propagation effectués par INERIS (Lit. [16]) avec des quantités d'ammoniac émises de 1400 à 3500 kg et des taux de libération situés entre 0,65 et 4,2 kg/s ont montré que, dans un premier temps, le gaz se propage sous la forme d'un gaz lourd , à des concentrations pouvant avoir des effets létaux (surtout en cas de libération sous forme de mélange diphasique) : « Liquefied ammonia releases behave like heavy gas releases » (p. 86) « the ammonia cloud formed behaves like a heavy gas, and no rise in the cloud is observed » (p. 103).
Propagation de type continu	Pour déterminer la nécessité de soumettre ou non une installation à l'OPAM, seule la libération continue est prise en compte (cf. chapitre 2.2.3). Les calculs sur modèle montrent que, lors d'une libération spontanée, une partie de l'ammoniac forme une flaque, qui ne s'évapore que lentement. La quantité d'ammoniac qui se propage, par unité de temps en phase gazeuse, sous la forme d'un nuage n'est donc pas a priori supérieure lors de libérations spontanées qu'en cas de libération continue. Il faut en outre partir du principe que les libérations spontanées sont nettement plus rares que les libérations continues ; de plus, un tel événement ne peut se produire que dans la salle des machines, en raison de la répartition de l'ammoniac dans l'installation. La propagation à partir de cette salle vers l'extérieur serait alors ralentie, de sorte que les émissions dans l'environnement auraient un caractère continu.
Direction de la libération	Effects propose deux options pour la libération continue : « Horizontal Jet Release » ou « Vertical Jet Release ». Un test de sensibilité effectué pour ce paramètre a révélé que ce choix selon Effects n'a pratiquement aucune répercussion sur le rayon de létalité. Dans le cas du « Vertical Jet Release », l'effet toxique ne commence cependant qu'à une certaine distance du lieu de libération, vu que le nuage doit d'abord se déposer. Les critères pour soumettre une installation ont été définis en partant de la direction « Horizontal Jet Release ».

Durée de libération	<p>La durée effective de libération dépend largement de la taille de la fuite ou du diamètre de la conduite touchée. On est parti de l'hypothèse que la durée de libération était de 5 min., indépendamment de la taille de l'installation.</p> <p>Pour vérifier cette hypothèse, la sensibilité des rayons de létalité et de la durée/du taux de libération ont été déterminés pour une libération constante. L'intervalle entre 2 et 10 minutes a été examiné pour la durée de libération. L'analyse a montré que cette durée (dans l'intervalle envisagé) n'influe que modestement sur les rayons de létalité lorsque la quantité totale d'ammoniac libéré est constante.</p>		
Taux de libération	Ces taux sont définis spécifiquement pour chaque installation (cf. chapitre 2.2.3).		
Facteur de correction K_{lieu}	<p>Les facteurs de correction relatifs au lieu de libération découlent des réflexions suivantes :</p> <p>Tout liquide sous pression dont la température se situe au-dessus de son point d'ébullition commence à bouillir en cas de détente. Intervient alors un phénomène appelé « flashing », c'est-à-dire qu'une partie du liquide s'évapore immédiatement, refroidissant par là-même le reste du liquide, sa température redescendant jusqu'au point d'ébullition.</p> <p>Ce phénomène se produisant très rapidement, il est permis de partir du principe qu'il est adiabatique. En conséquence, la part qui s'évapore peut être calculée théoriquement, sur la base des propriétés thermodynamiques. Pour l'ammoniac stocké à température ambiante, la part qui s'évapore est d'environ 20 % (si l'évaporation a lieu sans entrave). Les essais ont cependant révélé que la part qui s'évapore est nettement supérieure à ce que l'on escompterait sur la base du « flashing ». Cela s'explique du fait de l'évaporation très rapide de l'ammoniac, qui entraîne une partie du liquide sous forme de gouttelettes, ce qui aboutit à un spray.</p> <p>Lors de la libération d'ammoniac liquéfié sous pression, on observe donc trois phases : gaz d'ammoniac, gouttelettes d'aérosol et une flaque liquide, laquelle s'évapore lentement en fonction de l'apport de chaleur. Pour définir les critères déterminant la nécessité de soumettre une installation, on s'est fondé sur les données de Lit. [6], établissant le lien suivant entre le lieu de libération et la répartition de l'ammoniac entre les différentes phases :</p>		
	en plein air	dans le bâtiment, local avec façade extérieure	dans le bâtiment, local intérieur
Gaz	20 %	20 %	20 %
Aérosol	80 %	40 %	40 %
Flaque	0 %	40 %	40 %
Nuage ³⁹⁾	100 %	60 %	20 %
K_{lieu}	(gaz + aérosol) 1.0	(gaz + aérosol) 0.6	(gaz seulement) 0.2
<p>Les différences dans les valeurs sont dues au fait que les gouttelettes de l'aérosol sont précipitées au contact d'obstacles situés sur le chemin de propagation (Lit. [16]) et que seule une partie parvient à l'extérieur en cas de libération à l'intérieur du bâtiment.</p>			

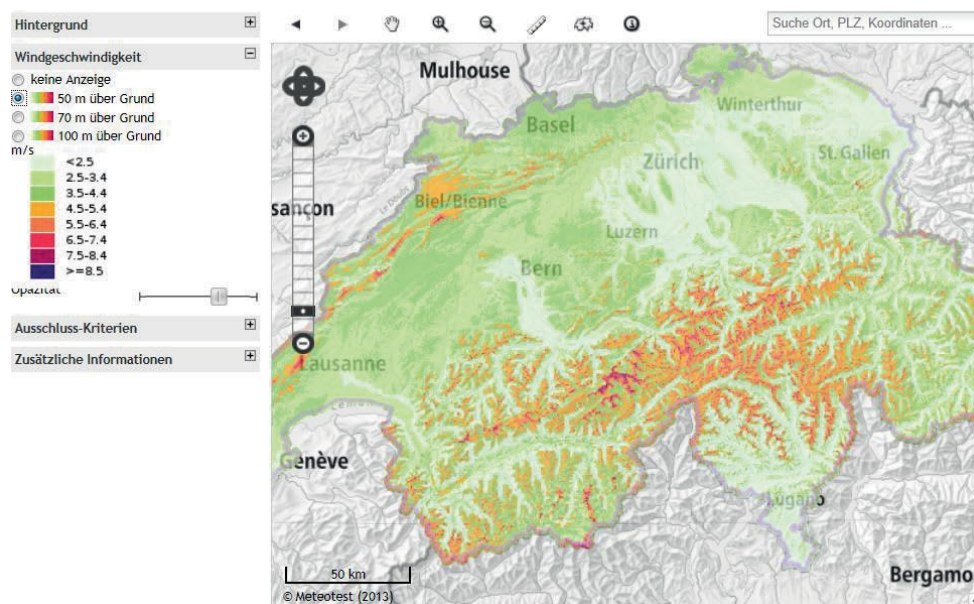
39 « Nuage » désigne la partie de l'ammoniac émis qui se propage en plein air, sous forme de gaz ou de gouttelettes d'aérosol. Cette part dépend de la voie par laquelle l'ammoniac parvient à l'extérieur.

Part d'aérosol dans le nuage	<p>Pour faire les calculs avec le modèle Effects, il faut indiquer quelle part du nuage d'ammoniac qui se propage est constituée de gouttelettes d'aérosol (« Initial Liquid Mass Fraction »). La masse totale d'ammoniac dans le nuage qui se propage n'est pas réduite davantage par ce facteur !</p> <p>Pour ne pas compliquer les critères déterminant la nécessité de soumettre une installation, les calculs de propagation partent d'une manière générale d'une part d'aérosol de 80 % (> « Initial Liquid Mass Fraction » = 0,8), au lieu de prendre des parts d'aérosols variant selon les lieux de libération (en plein air, local avec façade extérieure, local intérieur). Les analyses de sensibilité qui ont été faites à ce sujet ont montré que les rayons de létalité augmentent avec la part d'aérosol, et que la valeur choisie donne des résultats prudents.</p>
Diameter of expanded Jet	<p>On pose une valeur de 1 m.</p> <p>Une analyse de sensibilité pour les valeurs de ce paramètre situées entre 0,1 et 5 m montre que la valeur choisie aboutit à des résultats prudents.</p>
Température après libération	<p>Selon les instructions dans Effects (Lit. [15]), il faut, pour la libération continue, entrer la température du matériau à la pression atmosphérique, qui est retrouvée après la détente. La valeur utilisée est par conséquent - 33 °C.</p> <p>Une analyse de sensibilité a montré que ce paramètre n'avait pratiquement aucune incidence sur les rayons de létalité.</p>
Hauteur de libération	<p>Une valeur (prudente) de 0 m a été choisie.</p> <p>Une analyse de sensibilité pour ce paramètre a montré que la hauteur à laquelle a lieu la libération n'influe que faiblement sur l'extension maximale du nuage (comportement de gaz lourd). Il convient toutefois de relever que plus la hauteur est grande, plus la distance à laquelle les valeurs limites de concentration sont atteintes est importante, étant donné que le nuage d'ammoniac doit d'abord redescendre au niveau du sol.</p>
Température ambiante	<p>Cette température a été fixée à 20 °C.</p> <p>Un test de sensibilité effectué pour ce paramètre a révélé que d'autres valeurs selon Effects n'ont pratiquement aucune répercussion sur les rayons de létalité. En cas de températures plus basses, les rayons de létalité sont légèrement inférieurs. Une température de 20 °C se situant au-dessus de la moyenne annuelle, elle est légèrement prudente.</p>
Classe de stabilité météoro-logique	<p>Pour les calculs de propagation destinés à déterminer la nécessité de soumettre l'installation, on a choisi la classe de stabilité météorologique D (neutre) selon le modèle Pasquill-Gifford.</p> <p>Pour les rapports succincts et les études de risque établis dans le cadre de la prévention des accidents majeurs, on recourt aussi souvent à la classe de stabilité F (très stable), ce qui aboutit à des rayons de létalité supérieurs. La conséquence d'une approche aussi prudente serait qu'un nombre supérieur d'installations serait soumis à l'OPAM, le risque de dommages graves étant considéré comme possible. Au niveau étude de risque, il ressortirait que, dans la plupart des cas, les scénarios concernés sont trop rares pour influencer de manière déterminante sur l'évaluation des risques. Il faut par conséquent éviter de poser systématiquement des hypothèses très prudentes pour tous les paramètres lors de la détermination de la nécessité de soumettre une installation à l'OPAM. La classe de stabilité D est considérée comme un compromis raisonnable entre la fréquence d'occurrence et la distance de propagation.</p>
Vitesse du vent	<p>Elle a été fixée à 2 m/s pour les calculs de propagation destinés à déterminer les critères pour soumettre une installation (remarque : cette valeur correspond à l'hypothèse posée dans l'exemple de méthodologie non publié). Les valeurs effectives sont généralement supérieures pour le Plateau (voir figure 23).</p> <p>La vitesse du vent utilisée dans les études de risque analysées se situait entre 0,5 et 4,6 m/s. L'analyse de sensibilité pour ce paramètre a révélé que les rayons de létalité obtenus selon Effects sont inférieurs pour des vitesses du vent aussi bien plus grandes que plus petites. Si l'on se réfère à la carte des éoliennes (figure 23), il est indiqué de partir d'une vitesse moyenne du vent de 2 m/s.</p>

Humidité de l'air	Les calculs de propagation effectués pour déterminer les critères servant à évaluer la nécessité de soumettre une installation ont été faits en posant une humidité relative de l'air de 70 % (cette valeur correspond également à l'hypothèse posée dans l'exemple de méthodologie non publié). Une analyse de sensibilité pour ce paramètre a montré que l'humidité de l'air n'influit que faiblement sur les rayons de létalité selon Effects.
Rugosité de surface	Pour ce paramètre, on a utilisé la catégorie « Regular large obstacle coverage (suburb or forest) ». Cette rugosité de surface est réputée typique pour les environs d'installations pertinentes, aux distances considérées (zones bâties).
Hauteur de la mesure Exposition de personnes	On pose une hauteur de 1,50 m . Une analyse de sensibilité pour ce paramètre a montré qu'il n'y avait pas, selon Effects, de différences notables des rayons de létalité pour les hauteurs situées entre 0,2 et 2,0 m.
Durée d'exposition	Cette durée a été fixée à 30 minutes . Tant que cette valeur est plus grande que la durée de libération hypothétique de 5 min., ce facteur n'a pratiquement aucune incidence sur les résultats.

Figure 23 : Vitesse moyenne du vent en Suisse.

© 2013 Meteotest ; source : <http://wind-data.ch/windkarte>



Modélisation de la propagation et de l'effet

Les zones ont été définies pour une libération continue pendant 5 minutes, à un taux fixe, selon le modèle de propagation « Effects » (Lit. [15], zones dans lesquelles s'appliquent différents taux de létalité pour les personnes se trouvant à l'air libre (pas de fuite, à savoir exposition > 5 min.). La relation dose-réponse a été déterminée à l'aide de la fonction Probit⁴⁰). Pour les calculs de propagation, ce sont les hypothèses susmentionnées qui ont été utilisées.

En partant de ces conditions-cadres, l'étendue des zones correspondant à différents taux de létalité a été calculée pour différents taux de libération (plage de valeurs reprise de l'étape 1 : 0,5 à 6 kg/s). Les résultats de cette modélisation de la propagation sont représentés dans les figures 24 à 30. L'échelle de couleurs utilisée pour représenter les différentes zones de létalité est expliquée dans le tableau 10.

Tableau 10 : Couleurs utilisées pour représenter la propagation du nuage selon Effects (Lit. [15])

Légende des couleurs	Létalité à la limite extérieure (en %)
Couleur	
Rouge	99
Orange	75
Vert olive	50
Bleu	25
Vert	1

40 La fonction Probit et les paramètres correspondants sont intégrés dans le logiciel Effects. Ce sont les paramètres Probit selon TNO qui sont utilisés en l'occurrence (Lit. [15]). Un examen de plausibilité avec les valeurs AEGL-3 a montré qu'elles coïncident bien avec celles de la fonction Probit de TNO pour les périmètres de faible létalité.

Figure 24 : Propagation du nuage toxique en cas de libération continue de 6 kg/s d'ammoniac

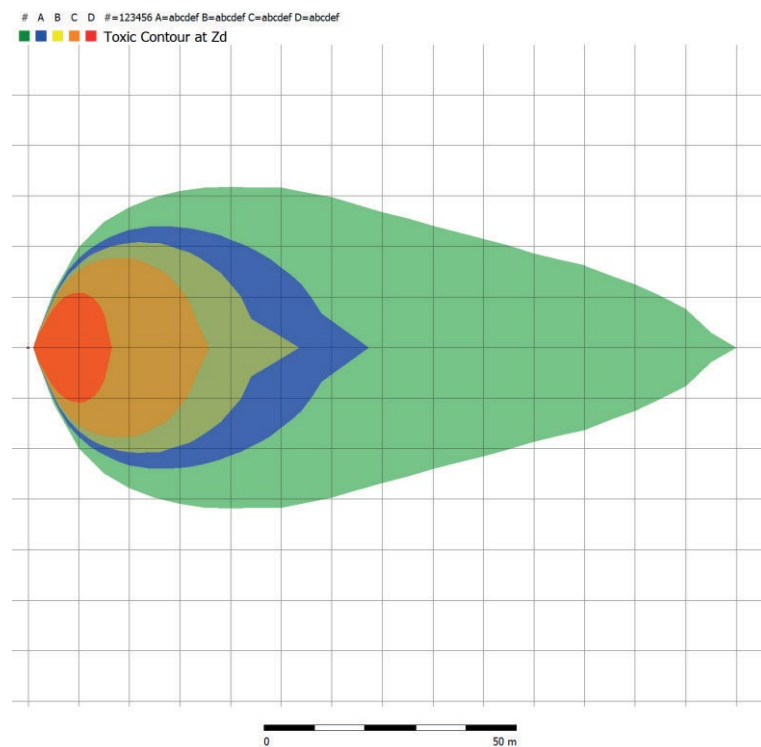


Figure 25 : Propagation du nuage toxique en cas de libération continue de 5 kg/s d'ammoniac

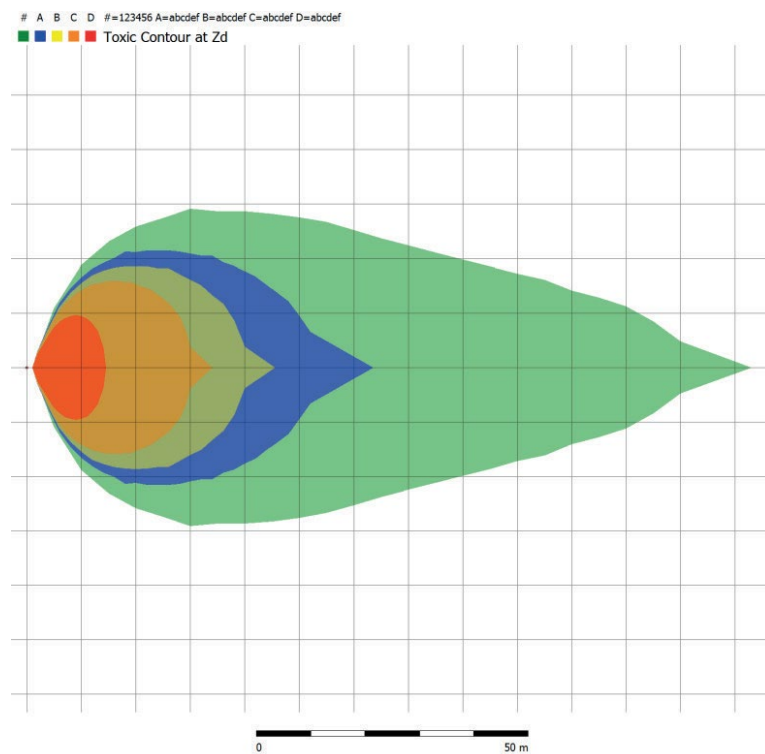


Figure 26 : Propagation du nuage toxique en cas de libération continue de 4 kg/s d'ammoniac

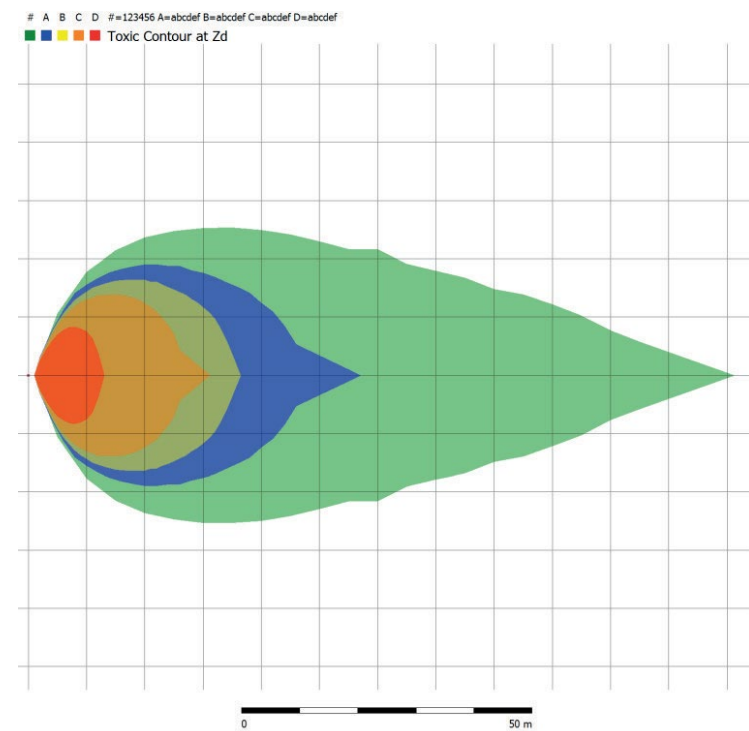


Figure 27 : Propagation du nuage toxique en cas de libération continue de 3 kg/s d'ammoniac

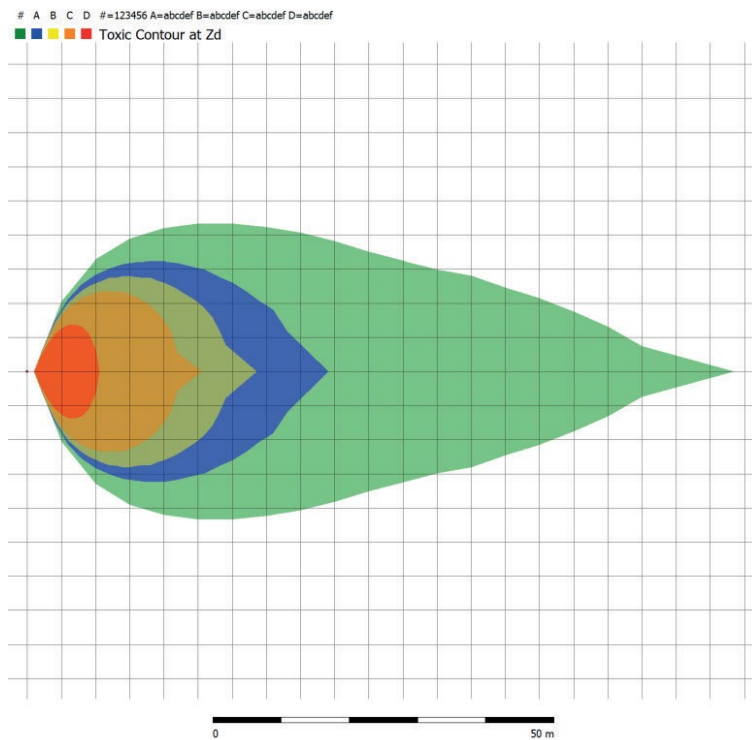


Figure 28 : Propagation du nuage toxique en cas de libération continue de 2 kg/s d'ammoniac

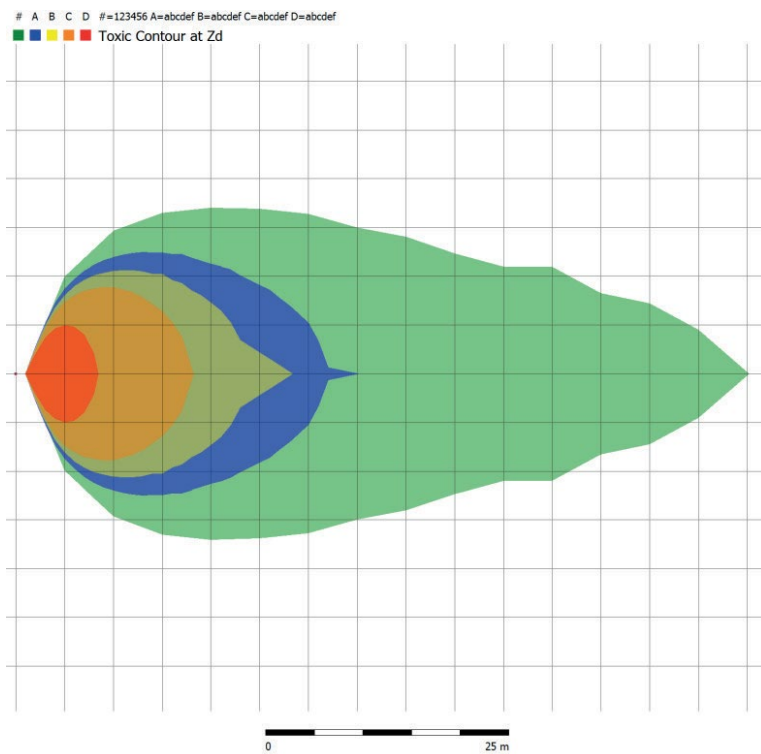


Figure 29 : Propagation du nuage toxique en cas de libération continue de 1 kg/s d'ammoniac

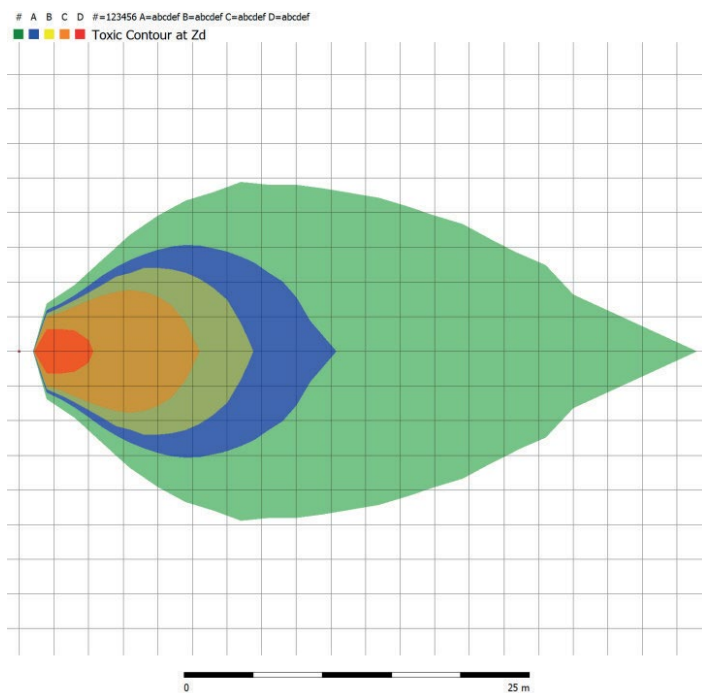
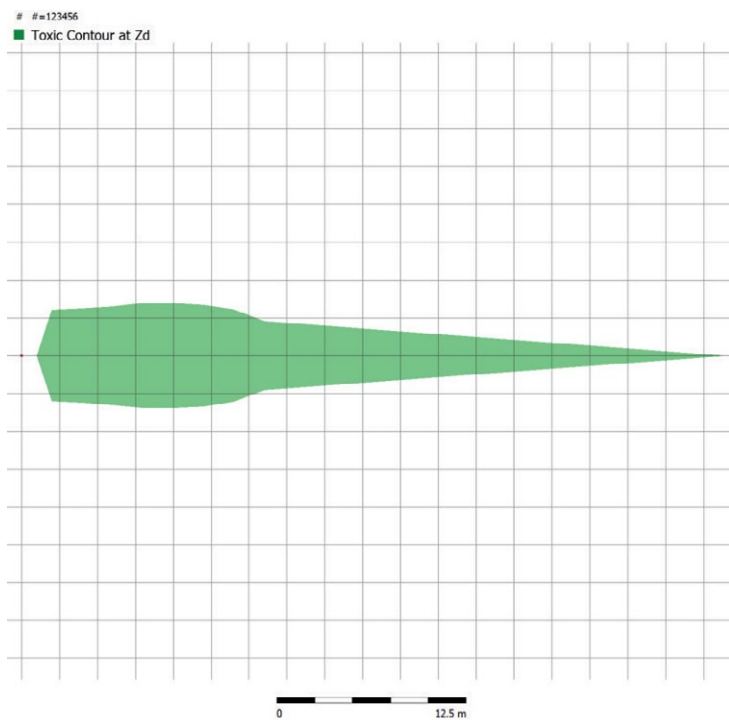


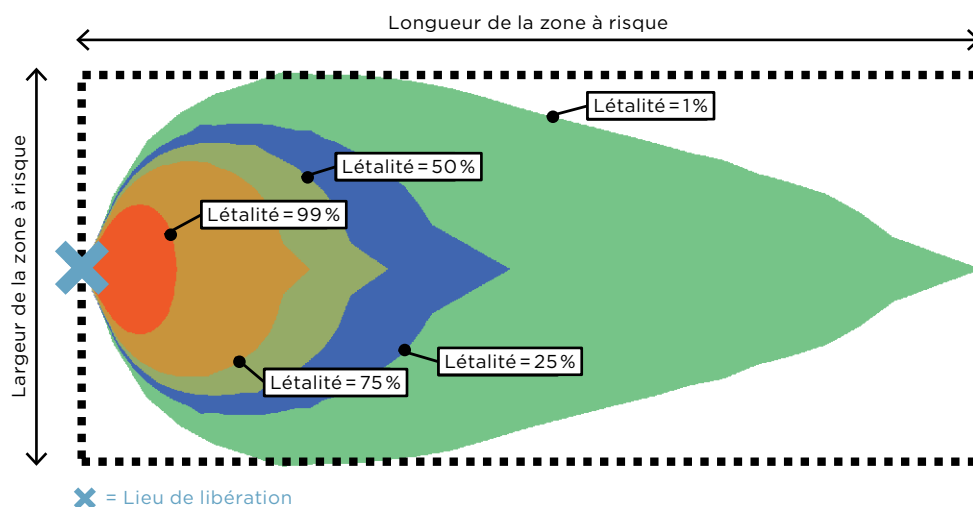
Figure 30 : Propagation du nuage toxique en cas de libération continue de 0,5 kg/s d'ammoniac



Détermination de la zone à risque

Afin de simplifier l'application des critères déterminant la nécessité de soumettre une installation, il a été décidé de définir prudemment un rectangle pour représenter la zone à risque modélisée. L'élément déterminant pour l'étendue maximale de la zone à risque est la surface où l'on escompte une létalité de 1% pour les personnes se trouvant en plein air (pas de fuite, c.-à-d. exposition pendant > 5 min.). La figure 31 illustre cette simplification.

Figure 31 : Périmètre de propagation simplifié du nuage d'ammoniac, dans lequel des personnes pourraient être potentiellement exposées à des concentrations létales (ligne pointillée)



Le tableau 11 résume les distances de propagation en relation avec un taux de létalité de 1%. L'étendue typique dans la direction du vent est indiquée ainsi que la largeur du panache.

Tableau 11 : Périmètre de propagation du nuage toxique selon les calculs avec Effects (Lit. [15]) : Létalité $\geq 1\%$

Zone à risque							
Taux de libération	0.5 kg/s	1 kg/s	2 kg/s	3 kg/s	4 kg/s	5 kg/s	6 kg/s
Longueur [m]	45	48	75	100	120	130	140
Largeur [m]	10	25	35	50	50	60	60

Détermination de la valeur limite pour le nombre de personnes se trouvant dans la zone à risque

Calcul de la létalité moyenne dans la zone de propagation du nuage toxique

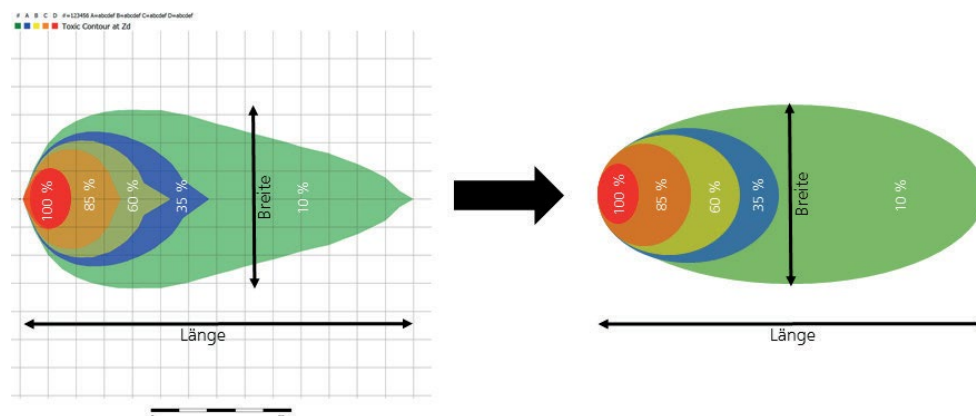
Les taux de létalité moyens en plein air dans les différents périmètres de létalité sont repris du rapport-cadre sur les installations de gaz naturel à haute pression (Lit. [9]).

Tableau 12 : Taux de létalité moyens pour les personnes en plein air dans les périmètres de létalité liés à la propagation de l'ammoniac (Lit. [9]).

Tableau de calcul	Létalité moyenne (en %)
Périmètre	
À l'intérieur de R_{99}	100
R_{99} à R_{75}	85
R_{75} à R_{50}	60
R_{50} à R_{25}	35
R_{25} à R_1	10
À l'extérieur de R_1	0

Par souci de simplification, on admet que les différents périmètres de létalité sont ellipsoïdaux. Pour calculer la surface de ces ellipses, il faut connaître leur longueur et leur largeur. À cet effet, on reprend la longueur et la largeur de chaque zone à risque, telles qu'elles ressortent des calculs de propagation.

Figure 32 : Calcul simplifié de la surface des différents périmètres de létalité (forme ellipsoïdale)



Pour calculer la létalité moyenne sur l'ensemble de la zone à risque, on a déterminé une valeur moyenne pour tous les périmètres de létalité, corrigés en surface. Pour les taux de libération considérés, soit entre 0,5 et 6,0 kg/s, on obtient ainsi une létalité moyenne générale de 28 % environ.

Valeur limite pour le nombre de personnes présentes P_{ref}

Pour chaque taux de libération envisagé, on a déterminé, à l'aide de la modélisation décrite ci-dessus, le nombre de personnes P_{ref} devant se trouver dans la zone de létalité > 1% pour que l'ampleur des dommages aux personnes atteigne 10 morts. Pour ce faire, la létalité moyenne pour l'ensemble de la zone où la létalité est supérieure à 1% a été calculée (cf. ci-dessus). On est parti de l'hypothèse que les personnes sont réparties de façon homogène dans cette zone à risque. Ces examens ont montré que la létalité moyenne reste quasi constante pour les taux de libération considérés (0,5 à 6 kg/s), tandis que l'étendue du nuage augmente avec le taux de libération. Pour les taux de libération évalués, on obtient une valeur limite uniforme pour le nombre de personnes se trouvant en plein air, soit 35.

P_{ref} = 35 personnes en plein air

Il y a une exception à cette valeur pour le taux de libération de 0,5 kg/s. Les calculs avec Effects indiquent qu'il n'y a pas dans ce cas de taux de létalité dépassant 25%. La létalité moyenne dans la zone à risque est par conséquent nettement inférieure, de sorte que la valeur limite pour le nombre de personnes en plein air passe à 100.

Exemple illustrant l'application des critères pour soumettre une installation

Une entreprise de logistique souhaite construire un nouvel entrepôt frigorifique. L'étude de projet est en cours. Elle doit évaluer la future installation frigorifique à l'ammoniac selon l'OPAM, dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

Données sur l'installation

- Utilisation : bâtiment logistique avec entrepôt frigorifique
- Quantité totale d'ammoniac : 1650 kg
- Il existe des données concernant la répartition de l'ammoniac dans l'installation. Étant donné que le séparateur et l'évaporateur se trouvent dans le même local, le requérant additionne les quantités.
- Installation de type 5 (condensation directe - CO_2)
- La salle des machines et le local frigorifique ont des parois extérieures.

Remarque : il ne ressort pas clairement des documents fournis si la salle des machines a vraiment une paroi donnant sur l'extérieur

et présentant des ouvertures, ou s'il s'agit d'un local intérieur. Par souci de prudence, la première évaluation part du principe qu'il y a une façade extérieure.

Étape 1 : détermination du taux de libération

Le taux de libération est déterminé sur la base des données disponibles, des hypothèses susmentionnées et des éléments décrits dans le chapitre 2.2.3. La démarche est illustrée dans la figure 33. On obtient un taux de libération maximal pour cette installation de 3,0 kg/s.

Figure 33 : Procédure pour déterminer le taux de libération maximal dans notre exemple (schématisation)

Ammoniak total		1'650 kg	
Verteilung in der Anlage (Typ 5)	Verdampfer	Abscheider	Kondensator
Angaben aus Projekt (gemäss Tabelle 1, Kap. 2.2)	n.A.	84%	16%
		40% (25% + 15%)	60%
Freisetzungsort	n.A.	An Fassade grenzend	Im Freien
Gas- und Aerosolanteil	---	0.6	1.0
Entleerungsdauer	5 min	5 min	5 min
Freisetzungsrate	---	2.8 kg/s	0.9 kg/s
	---	(rund 3.0 kg/s)	(rund 1.0 kg/s)

Remarque : dans cet exemple, on a utilisé les données fournies par le détenteur au sujet de la répartition de l'ammoniac dans l'installation. Il ressort ici que la répartition de l'ammoniac dans une installation réelle peut parfois s'écarter considérablement des indications figurant dans le tableau 1. En d'autres termes, ces indications doivent être utilisées avec circonspection.

Étape 2 : détermination de la valeur limite pour l'exposition de personnes

En partant du taux d'exposition maximal de 3 kg/s déterminé précédemment selon le tableau 3 ou le tableau 4, on obtient une zone à risque d'une longueur de 100 m et d'une largeur de 50 m, où un maximum de 35 personnes peuvent se trouver en plein air.

Figure 34 : Détermination de la zone à risque et du nombre maximum de personnes, sur la base du taux de libération maximal selon le tableau 4.

Valeur limite nombre de personnes	Zone à risque		Valeur limite pour le nombre de personnes $P_{\text{réf}}$ dans la zone à risque
Taux de libération [kg/s]	Longueur [m]	Largeur [m]	
6	140	60	35 personnes en plein air
5	130	60	
4	120	50	
3	100	50	
2	75	35	
1	48	25	
0.5	45	10	100 personnes en plein air

Étape 3 : décision de soumettre l'entreprise à l'OPAM

Le nombre effectif de personnes pouvant se trouver dans la zone proche du site d'implantation prévu est déterminé, puis la zone à risque (en prenant une direction défavorable du vent) est superposée.

Figure 35 : Nombre de personnes (travailleurs) dans les entreprises voisines et zone à risque en cas de direction du vent critique.

Carte utilisée : © 2014 swisstopo (BA140279)



En partant du nombre de places de travail dans l'entreprise voisine et des vues aériennes du terrain, on estime que sur les 80 collaboratrices et collaborateurs, 5 à 10 au maximum pourraient se trouver simultanément en plein air, dans la zone à risque.

Constat

Le nombre maximum escompté de personnes pouvant se trouver en plein air dans la zone à risque (5 à 10) est inférieur au nombre maximal admissible, à savoir qui pourrait causer des dommages réputés graves (35 personnes). Il n'est dès lors pas recommandé de soumettre l'installation selon l'art. 1, al. 3, OPAM.

A4 – Protection par les bâtiments

Temps de passage du nuage toxique et relation entre la concentration et la hauteur

Dans les scénarios d'accidents majeurs envisagés, la concentration d'ammoniac létale peut perdurer 5 à 10 minutes environ. Une fois que la libération de substance cesse, le nuage d'ammoniac se disperse rapidement. En outre, plus la hauteur augmente, plus la concentration d'ammoniac diminue (modèle du gaz lourd).

Si l'ouverture pour l'apport d'air frais dans le bâtiment se situe dans le nuage toxique, la concentration d'ammoniac à l'intérieur du bâtiment va augmenter jusqu'à atteindre le niveau à l'extérieur. La figure 37 illustre schématiquement l'évolution de la concentration à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment, pour une libération continue et limitée dans le temps, en fonction du taux de renouvellement d'air.

Figure 36 : Périmètres de létalité du nuage d'ammoniac en fonction de la hauteur, pour un taux de libération de 6 kg/s et un comportement de gaz lourd (Lit. [15])

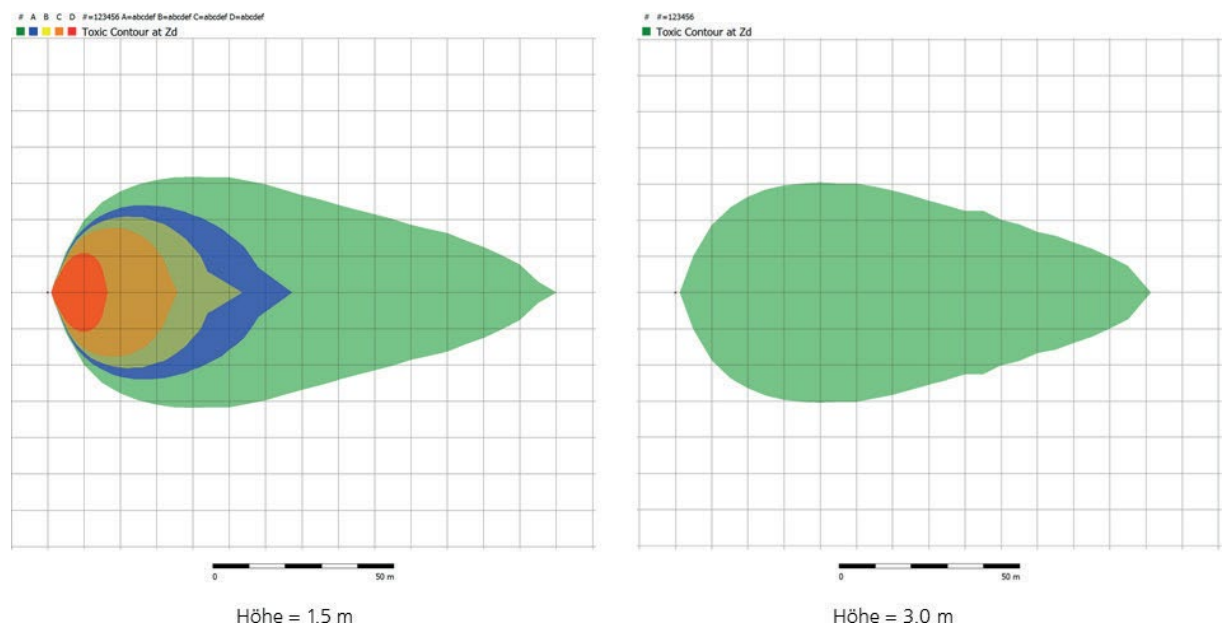
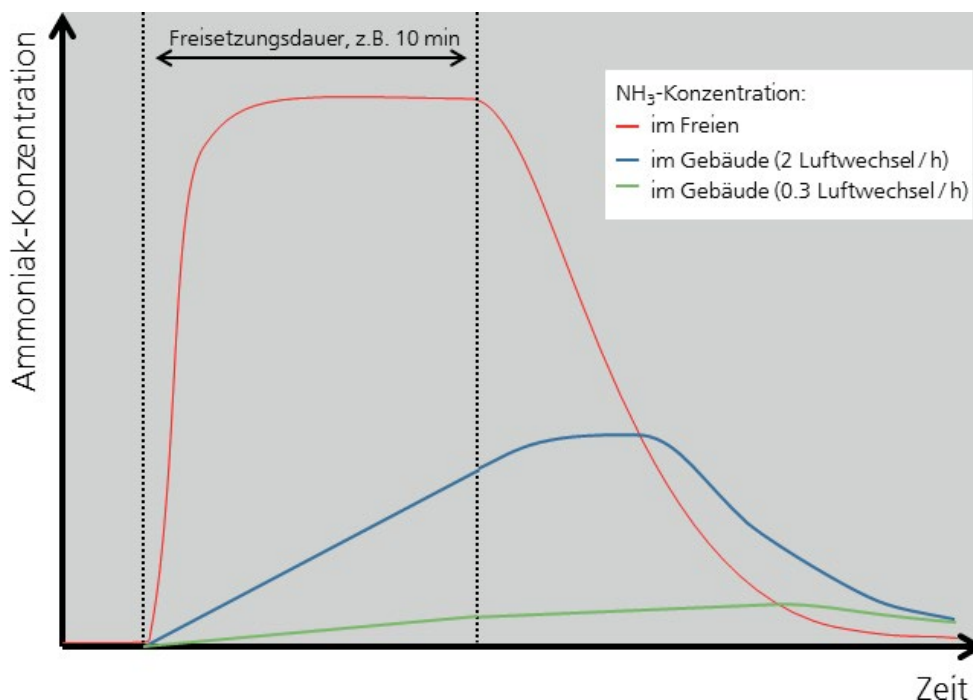


Figure 37 : Représentation schématique de la relation entre l'évolution de la concentration d'ammoniac en plein air et à l'intérieur du bâtiment ainsi qu'en rapport avec le taux de renouvellement d'air



Placement des ouvertures pour l'apport d'air frais dans les bâtiments

Dans les zones urbaines, les ouvertures se situent toujours à une hauteur minimale de 3 m au-dessus du sol (protection contre les gaz d'échappement et le vandalisme). En règle générale, elles sont placées à cette hauteur ou alors sur le toit.

Elles se situent souvent sur la façade nord du bâtiment afin d'éviter d'apporter de l'air chaud pendant l'été. Autant que possible, les ouvertures sont placées sur le côté opposé à la route. Le choix définitif de l'emplacement résulte de la pesée de ces différents facteurs.

Taux de renouvellement d'air dans les bâtiments

Il faut distinguer entre les bâtiments présentant une aération mécanique et ceux où l'aération se fait naturellement. Dans la variante mécanique, le taux dépend de l'utilisation. Dans les immeubles abritant des bureaux, il est permis de partir d'un taux moyen de renouvellement de l'air d'environ 2 par heure. Il convient de garder à l'esprit que l'aération mécanique est de plus en plus répandue dans les immeubles d'habitation également, aux fins de respecter les normes Minergie.

En cas d'aération naturelle par les fenêtres, il y a des variations saisonnières. Les taux de renouvellement d'air sont en effet plus importants en hiver qu'en été, en raison de la plus grande différence de température. Les valeurs figurant dans le tableau 13 sont une approximation.

Tableau 13 : Taux de renouvellement d'air typiques dans les bâtiments (habitation et bureau) aérés naturellement.

Taux de renouvellement d'air

	Hiver	Été
Fenêtres fermées	Env. 0,1 renouvellement d'air par heure (nouveau bâtiment) Env. 0,3 renouvellement d'air par heure (vieux bâtiment)	Pratiquement aucun renouvellement d'air
Fenêtres ouvertes	8 à 10 renouvellements d'air par heure	Env. 1 renouvellement d'air par heure

(En moyenne annuelle, env. 4 renouvellements d'air par heure)

Dérivation des taux de protection assurés par les bâtiments

En se fondant sur le taux de renouvellement d'air dans le bâtiment et la distance entre l'ouverture d'apport d'air frais et le lieu de libération, il est possible d'estimer les concentrations d'ammoniac qui seraient atteintes dans le bâtiment pour une libération donnée. Le tableau 14 propose une approche pragmatique pour dériver la protection assurée par le bâtiment. Par souci de simplification, on part de l'hypothèse que les personnes dans le bâtiment sont exposées à l'ammoniac pendant toute la durée de libération.

Tableau 14 : Protection assurée par le bâtiment, en fonction de la distance du lieu de libération et de l'utilisation ou du taux de renouvellement d'air

Zone de létalité	dans R_{99}	entre R_{50} et R_{99}	entre R_1 et R_{50}
Létalité moyenne en plein air dans ce périmètre	99 %	87 %	22 %
Concentration moyenne d'ammoniac (durée d'exposition : 10 min.)	30 500 mg/m ³	16 500 mg/m ³	6 390 mg/m ³
Aération naturelle			
Env. 0,3 renouvellement d'air par heure			
Concentration moyenne dans le bâtiment au bout de 10 min. ⁴¹⁾	1525 mg/m ³	825 mg/m ³	320 mg/m ³
Létalité moyenne dans le bâtiment	0 %	0 %	0 %
Protection par le bâtiment⁴²⁾ Bureaux, écoles		95 %⁴³⁾	
Env. 50 % avec aération naturelle et 50 % avec aération mécanique			
env. 1 renouvellement d'air par heure			
Concentration moyenne dans le bâtiment au bout de 10 min. ⁴¹⁾	5 080 mg/m ³	2 750 mg/m ³	1 065 mg/m ³
Létalité moyenne dans le bâtiment	11 %	0.7 %	0 %
Protection par le bâtiment⁴²⁾ Industrie	90 %	90 %	95 %⁴²⁾
Aération mécanique à 100 % (par ex. utilisation industrielle)			
env. 2 renouvellements d'air par heure			
Concentration moyenne dans le bâtiment au bout de 10 min. ⁴¹⁾	10 170 mg/m ³	5 500 mg/m ³	2 130 mg/m ³
Létalité moyenne dans le bâtiment	56 %	14 %	0.1 %
Protection par le bâtiment⁴²⁾ Industrie	45 %	85 %	95 %

Conclusion concernant la protection par le bâtiment

La protection assurée par un bâtiment augmente avec la distance du lieu de libération, car la concentration d'ammoniac en plein air diminue. Plus le taux de renouvellement d'air est élevé, moins le bâtiment protège les personnes qui s'y trouvent. En conséquence, il faut tenir compte du fait que même les personnes se trouvant à l'intérieur de bâtiments peuvent être en danger dans le voisinage proche d'une installation frigorifique à l'ammoniac.

-
- 41** La concentration d'ammoniac à l'intérieur du bâtiment augmente lentement. La concentration moyenne sur 10 min serait par conséquent inférieure. Cette simplification est compensée par le fait que, pour la létalité dans le bâtiment, on suppose également une durée d'exposition de 10 min., alors qu'elle est légèrement supérieure en réalité. En d'autres termes, la concentration moyenne est légèrement surestimée, mais, en contrepartie, la durée d'exposition est quelque peu réduite.
- 42** Une protection par le bâtiment de 70 % par exemple signifie que la létalité pour les personnes qui, selon le modèle, se trouvent à l'intérieur d'un bâtiment au moment de l'événement est réduite d'un facteur 0,3 (=1-0.7).
- 43** Les calculs indiquent que le bâtiment assure une protection de 100 %. Par mesure de précaution, on suppose toutefois que 5 % des personnes se trouvant dans le bâtiment ont des fenêtres ouvertes et ne sont donc pas protégées.

A5 – Propagation du nuage toxique : hypothèses au niveau du rapport succinct

Le chapitre 4.5 indique l'extension géographique de la zone à risque à prendre en compte au niveau du rapport succinct pour calculer l'ampleur des dommages dans différents scénarios et pour différentes quantités ou taux de libération. La présente annexe documente les bases, les hypothèses et les calculs qui ont été utilisés pour dériver ces zones à risque.

Si l'auteur du rapport succinct procède à ses propres calculs de propagation, il est néanmoins invité à s'en tenir autant que possible aux exigences ci-après, ceci dans l'intérêt d'une exécution uniforme. Les écarts doivent être dûment motivés.

Propagation de l'ammoniac

Paramètres de libération et de propagation pour les rapports succincts

Les hypothèses sont décrites ci-après. Certaines d'entre elles se rapportent spécifiquement au modèle utilisé, « Effects » (Lit. [15]). Si des calculs de propagation propres sont effectués, il est possible d'utiliser également d'autres modèles. Selon les options du modèle choisi, les exigences seront adaptées ou complétées en conséquence.

**Tableau 15 : Calculs de propagation au niveau rapport succinct :
dérivation des valeurs pour les paramètres généraux**

Paramètres généraux	
Paramètre	Explication
Quantité libérée/ taux de libération	<p>Au niveau du rapport succinct, on pose d'une manière générale comme quantité libérée le contenu d'ammoniac total de l'installation, à condition qu'il se trouve dans un même circuit. Lorsqu'une installation est constituée de plusieurs circuits d'ammoniac distincts, ceux-ci sont évalués séparément.</p> <p>La quantité d'ammoniac déterminante pour la propagation du nuage dépend de la part de l'ammoniac libéré qui s'évapore directement et de la quantité d'ammoniac liquide qui est emportée sous forme de gouttelettes au moment de la libération du gaz. La quantité libérée est par conséquent corrigée par un facteur correspondant.</p>

Hauteur de la libération Données spécifiques de l'installation (hauteur des orifices de décharge vers l'extérieur en cas de libération à l'intérieur du bâtiment ou, en cas de fuite en plein air, hauteur de la partie de l'installation touchée).

Modèle de propagation Pour les libérations en plein air ou par des fenêtres ou des portes forcées par la pression, il faut partir d'un modèle de gaz lourd, car il y a lieu dans ce cas d'escompter un taux d'aérosol important dans le nuage. Pour la libération par les conduits d'aération en revanche, il est recommandé d'utiliser un modèle de gaz neutre, vu que les gouttelettes se déposent en grande partie dans ces conduits. Les essais de propagation effectués par INERIS (Lit. [16]) avec des quantités d'ammoniac libérées de 1400 à 3500 kg et des taux de libération situés entre 0,65 et 4,2 kg/s ont montré que, durant la première phase, le gaz se propage comme un gaz lourd dans le périmètre où les concentrations sont létales (surtout en cas de libération comme mélange biphasé). Citations : « Liquefied ammonia releases behave like heavy gas releases » (p. 86) « the ammonia cloud formed behaves like a heavy gas, and no rise in the cloud is observed » (p. 103).

Lieu de libération	en plein air	dans le bâtiment, local avec façade extérieure		dans le bâtiment, local intérieur
--------------------	--------------	--	--	-----------------------------------

Chemin vers l'extérieur		par un orifice dans la façade	par l'aération sur le toit	par l'aération sur le toit
-------------------------	--	-------------------------------	----------------------------	----------------------------

Modèle de propagation	Gaz lourd	Gaz lourd	Gaz neutre	Gaz neutre
-----------------------	-----------	-----------	------------	------------

Classe de stabilité météorologique On part de la **classe de stabilité météorologique D (neutre)** selon le modèle Pasquill-Gifford.

Rugosité de surface Données spécifiques du site.

Vitesse du vent Les calculs de propagation se feront avec une vitesse du vent de **2 m/s**. Les valeurs effectives sont généralement supérieures pour le Plateau (voir figure 38). La vitesse du vent proposée produit néanmoins des résultats prudents. Une valeur encore plus basse n'apparaît toutefois pas judicieuse, car les modèles de propagation ne sont valables qu'à partir d'une certaine vitesse du vent ; 2 m/s est d'une manière générale considéré comme une valeur appropriée.

Température ambiante Les calculs de propagation se font pour une température ambiante de **20 °C**. Un test de sensibilité effectué pour ce paramètre a révélé que d'autres valeurs selon Effects n'ont pratiquement aucune répercussion sur les rayons de létalité. En cas de températures plus basses, les rayons de létalité sont légèrement inférieurs. Une température de 20 °C se situant au-dessus de la moyenne annuelle, elle est légèrement prudente.

Humidité de l'air Il faut utiliser une humidité de l'air relative de **70 %**. Une analyse de sensibilité pour ce paramètre a montré que l'humidité de l'air dans Effects n'influe que faiblement sur les résultats de la modélisation de la propagation et sur les rayons de létalité en découlant.

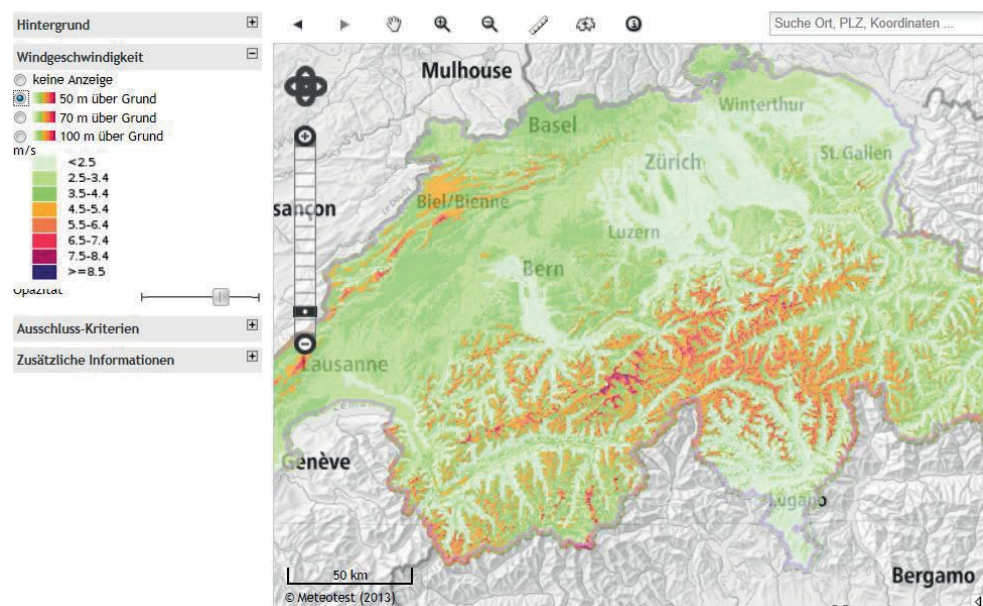
Figure 38 : Vitesse moyenne du vent en Suisse.© 2013 Meteotest; source : <http://wind-data.ch/windkarte>

Tableau 16 : Paramètres pour les calculs de propagation en cas de libération avec terme source continu (niveau rapport succinct)

Libération continue

Paramètre	Explication																																
Point de sortie du bâtiment	Libération continue : si la libération continue a lieu à l'intérieur du bâtiment, il faudra définir l'orifice de sortie du système d'aération comme point de sortie vers l'extérieur. Il est permis de partir du principe que les portes et les fenêtres résistent à la faible pression résultant d'une libération continue (réduction immédiate de la pression par le biais du conduit d'aération) et qu'une quantité négligeable seulement s'échappe par des fissures. Si le local concerné a une paroi donnant sur l'extérieur qui présente des ouvertures (par ex. portes, fenêtres), il est possible, à titre exceptionnel, de considérer ces dernières comme points de sortie. Dans ce cas, il faut préciser les raisons pour lesquelles des quantités significatives de gaz s'échappent par ces ouvertures plutôt que par les conduits d'aération.																																
Durée de libération	<p>La durée effective de libération dépend largement de la taille de la fuite ou du diamètre de la conduite touchée. Au niveau du rapport succinct, on part d'une manière générale de l'hypothèse que la durée de libération est de 10 min., indépendamment de la taille de l'installation.</p> <p>Pour vérifier cette hypothèse, la sensibilité des rayons de létalité et de la durée/du taux de libération ont été déterminés pour une libération constante. L'intervalle entre 2 et 10 minutes a été examiné pour la durée de libération. L'analyse a montré que cette durée (dans l'intervalle envisagé) n'influe que modestement sur les rayons de létalité lorsque la quantité totale d'ammoniac libéré est constante.</p>																																
Facteur de correction K_{lieu}	<p>Lors de la libération d'ammoniac liquéfié sous pression, on observe trois phases : gaz d'ammoniac, gouttelettes d'aérosol et flaque liquide, laquelle s'évapore lentement en fonction de l'apport de chaleur. En se fondant sur les données de Lit. [6], on établit, pour la libération continue au niveau du rapport succinct, le lien suivant entre le lieu de libération et la répartition de l'ammoniac entre ces différentes phases :</p> <table><tr><th>Lieu de libération</th><th>en plein air</th><th>dans le bâtiment, local avec façade extérieure</th><th>dans le bâtiment, local intérieur</th></tr><tr><td>Chemin vers l'extérieur</td><td></td><td>par orifice dans la façade (exception)</td><td>par aération sur le toit (règle gén.)</td></tr><tr><td>Terme source</td><td>continu</td><td>continu</td><td>continu</td></tr><tr><td>Gaz</td><td>20 %</td><td>20 %</td><td>20 %</td></tr><tr><td>Aérosol</td><td>80 %</td><td>40 %</td><td>40 %</td></tr><tr><td>Flaque</td><td>0 %</td><td>40 %</td><td>40 %</td></tr><tr><td>Nuage⁴⁴⁾</td><td>100 %</td><td>60 %</td><td>20 %</td></tr><tr><td>K_{lieu}</td><td>(gaz + aérosol) 1.0</td><td>(gaz + aérosol) 0.6</td><td>(gaz seulement) 0.2</td></tr></table>	Lieu de libération	en plein air	dans le bâtiment, local avec façade extérieure	dans le bâtiment, local intérieur	Chemin vers l'extérieur		par orifice dans la façade (exception)	par aération sur le toit (règle gén.)	Terme source	continu	continu	continu	Gaz	20 %	20 %	20 %	Aérosol	80 %	40 %	40 %	Flaque	0 %	40 %	40 %	Nuage ⁴⁴⁾	100 %	60 %	20 %	K_{lieu}	(gaz + aérosol) 1.0	(gaz + aérosol) 0.6	(gaz seulement) 0.2
Lieu de libération	en plein air	dans le bâtiment, local avec façade extérieure	dans le bâtiment, local intérieur																														
Chemin vers l'extérieur		par orifice dans la façade (exception)	par aération sur le toit (règle gén.)																														
Terme source	continu	continu	continu																														
Gaz	20 %	20 %	20 %																														
Aérosol	80 %	40 %	40 %																														
Flaque	0 %	40 %	40 %																														
Nuage ⁴⁴⁾	100 %	60 %	20 %																														
K_{lieu}	(gaz + aérosol) 1.0	(gaz + aérosol) 0.6	(gaz seulement) 0.2																														

44 « Part dans le nuage » indique la part de l'ammoniac libéré qui se propage en plein air, sous forme de gaz ou de gouttelettes d'aérosol. Cette part dépend de la voie par laquelle l'ammoniac parvient à l'extérieur.

Exemple : une installation contient 5000 kg, la libération est continue à l'intérieur du bâtiment et la propagation se fait par l'aération, dans ce cas, on obtient pour les calculs de propagation un terme source de 1000 kg sur 10 minutes.

Les différences dans les valeurs sont dues au fait que les gouttelettes de l'aérosol sont précipitées au contact d'obstacles situés sur le chemin de propagation (Lit. [16]) et que seule une partie parvient à l'extérieur en cas de libération à l'intérieur du bâtiment. La part de l'ammoniac libéré qui forme une flaque ne participe à la propagation du nuage qu'avec un décalage dans le temps et son rôle n'est que secondaire⁴⁵⁾.

Part d'aérosol
dans le nuage

Pour faire les calculs avec le modèle Effects, il faut indiquer quelle part du nuage d'ammoniac qui se propage est constituée de gouttelettes d'aérosol (« Initial Liquid Mass Fraction »). La quantité totale d'ammoniac dans le nuage qui se propage n'est pas réduite davantage par ce facteur !

La part de gouttelettes emportées par le gaz varie selon le lieu de libération et, avec elle, la quantité d'aérosol dans le nuage d'ammoniac :

Lieu de libération	en plein air	dans le bâtiment, local avec façade extérieure	dans le bâtiment, local intérieur
Chemin vers l'extérieur		par orifice dans la façade (exception)	par aération sur le toit (règle gén)
Modèle de propagation	Gaz lourd	Gaz lourd	Gaz neutre
Part d'aérosol dans le nuage	80 % ⁴⁶⁾	67 % ⁴⁷⁾	0 %

- 45 Cette affirmation est vraie à condition que la surface de la flaque soit limitée (règles de la technique selon SN/ EN 378-2 (Lit. [23]), chapitre 5.17.2.1)
- 46 On présume que 20 % de l'ammoniac libéré s'évaporent spontanément et que les 80 % restants sont emportés sous forme d'aérosol (selon Lit. [6], « faible libération continue en plein air »). La part d'aérosol dans le nuage comporte donc 80 %.
- 47 On présume que 20 % de l'ammoniac libéré s'évaporent spontanément et que les 40 % sont emportés sous forme d'aérosol (selon Lit. [6], « faible libération continue en plein air »). Les 40 % restants forment une flaque. La part d'aérosol dans le nuage comporte donc 67 %.

Libération spontanée

Les exigences sont d'une manière générale les mêmes que pour la libération continue. Seuls les écarts et les compléments sont par conséquent indiqués ci-après.

Tableau 17 : Calculs de propagation au niveau rapport succinct pour la libération avec terme source spontané (« libération subite »).

Libération spontanée	
Paramètre	Explication
Point de sortie du bâtiment	Pour les libérations spontanées, le point de sortie sera l'emplacement de l'installation (en plein air) ou celui de la fuite dans la salle des machines (porte ou fenêtre donnant sur l'extérieur). Lorsque l'ammoniac est émis dans un local intérieur, la libération se fait avec un terme source continu, par les conduits d'aération. Dans ce cas, il faut également définir l'orifice de décharge du système d'aération concerné comme point de sortie.
Durée de libération	<p>Si la libération spontanée a lieu à l'intérieur du bâtiment et que l'ammoniac ne parvient à l'extérieur que par le biais du système d'aération, la libération sera décalée. Cependant, en dépit de la libération spontanée, la propagation du gaz en plein air se fait selon un terme source continu (> cf. les indications concernant la libération spontanée sous « terme source »). Dans ce cas, on pose également une durée de libération générale de 10 min. Cette hypothèse est prudente, vu que le taux de renouvellement d'air dans les bâtiments est généralement inférieur à 6 par heure et que l'aération mécanique est déclenchée automatiquement lorsque la valeur d'alarme supérieure est dépassée (cf. règles de la technique, chapitre 4.2.1).</p> <p>Pour vérifier cette hypothèse, la sensibilité des rayons de létalité et de la durée/du taux de libération ont été déterminés pour une libération constante. L'intervalle entre 2 et 10 minutes a été examiné pour la durée de libération. L'analyse a montré que cette durée (dans l'intervalle envisagé) n'influe que modestement sur les rayons de létalité lorsque la quantité d'ammoniac libérée est constante.</p>
Terme source spontané / continu	Peu de causes seulement peuvent entraîner l'éclatement spontané du séparateur. En conséquence, les libérations spontanées sont beaucoup plus rares que les libérations continues ; elles sont généralement le résultat d'un impact physique considérable sur le bâtiment. Le facteur déterminant pour la propagation consécutive en plein air réside dans les dommages que cet impact a causés à l'enveloppe du bâtiment. Selon le pouvoir de rétention de cette dernière, une libération spontanée à l'intérieur peut engendrer une propagation d'ammoniac présentant un terme source spontané ou au contraire continu. Par souci de simplification, les hypothèses suivantes sont émises :

Lieu de libération		Terme source		
Séparateur en plein air		Terme source spontané		
Séparateur situé dans un local ayant une paroi extérieure (avec des ouvertures donnant directement sur l'extérieur ou, pour les installations sportives, sur l'espace public) ⁴⁸⁾		Terme source spontané Si les portes et les murs sont très massifs, il peut être admis, à titre exceptionnel, d'utiliser un terme source continu, avec une décharge par les conduits d'aération. Dans ce cas, il faut consigner dans le rapport succinct les réflexions ayant mené à cette hypothèse.		
Séparateur situé dans un local intérieur (aucune ouverture qui mènerait rapidement vers l'extérieur)		Terme source continu (L'ammoniac parvient à l'extérieur par les conduits d'aération) Dans ce cas, on admet d'une manière générale que la libération à partir du bâtiment vers l'extérieur se fait sur 10 minutes.		

Facteur de correction K_{lieu}	Lors de la libération d'ammoniac liquéfié sous pression, on observe trois phases : gaz d'ammoniac, gouttelettes d'aérosol et flaque liquide, laquelle s'évapore lentement en fonction de l'apport de chaleur. En se fondant sur les données de Lit. [6], on établit, pour la libération spontanée au niveau du rapport succinct, le lien suivant entre le lieu de libération et la répartition de l'ammoniac entre ces différentes phases :				
	Lieu de libération	en plein air	dans le bâtiment, local avec façade extérieure		dans le bâtiment, local intérieur
	Chemin vers l'extérieur		Chemin vers l'extérieur (règle gén)	par aération sur le toit (exception)	par aération sur le toit
	Terme source	spontané	spontané	continu	continu
	Gaz Aérosol Flaque	20 % 20 % 60 %	20 % 20 % 60 %	20 % 20 % 60 %	20 % 20 % 60 %

K_{lieu}	Nuage ⁴⁹⁾	40 %	40 %	20 %	20 %
		(gaz + aérosol)	(gaz + aérosol)	(gaz seulement)	(gaz seulement)
		0.4	0.4	0.2	0.2

Exemple : une installation contient 5 000 kg, la libération est spontanée à l'intérieur du bâtiment et la propagation se fait par des ouvertures dans la façade ; dans ce cas, on obtient pour les calculs de propagation un terme source (spontané) de 2 000 kg.

48 Si la quantité d'ammoniac émise atteint plus de 160 kg par m³ de volume du local, il peut même arriver que des murs cèdent, en fonction de leur mode construction, en raison de l'augmentation de la pression. Source : US EPA, Lit. [18], p. 5.

49 Hypothèse de base : l'ammoniac libéré se répartit de la manière suivante entre les différentes phases : 20 % d'évaporation spontanée, 20 % d'aérosol, 60 % dans la flaque. Source : Lit. [6], p. 3.

Les différences dans les valeurs sont dues au fait que les gouttelettes de l'aérosol sont précipitées au contact d'obstacles situés sur le chemin de propagation (Lit. [16]) et que seule une partie parvient à l'extérieur en cas de libération à l'intérieur du bâtiment. La part de l'ammoniac libéré qui forme une flaque ne participe à la propagation du nuage qu'avec un décalage dans le temps et son rôle n'est que secondaire⁵⁰.

Part d'aérosol
dans le nuage

Pour faire les calculs avec le modèle Effects, il faut indiquer quelle part du nuage d'ammoniac qui se propage est constituée de gouttelettes d'aérosol (« Initial Liquid Mass Fraction »). La masse totale d'ammoniac dans le nuage qui se propage n'est pas réduite davantage par ce facteur !

La part de gouttelettes emportées par le gaz varie selon le lieu de libération et, avec elle, la quantité d'aérosol dans le nuage d'ammoniac :

Lieu de libération	en plein air	dans le bâtiment, local avec façade extérieure	dans le bâtiment, local intérieur
Chemin vers l'extérieur		par orifice dans la façade (règle gén)	par aération sur le toit (exception)
Part d'aéro-sol dans le nuage	50 % ⁵¹⁾	50 % ⁵²⁾	0 %

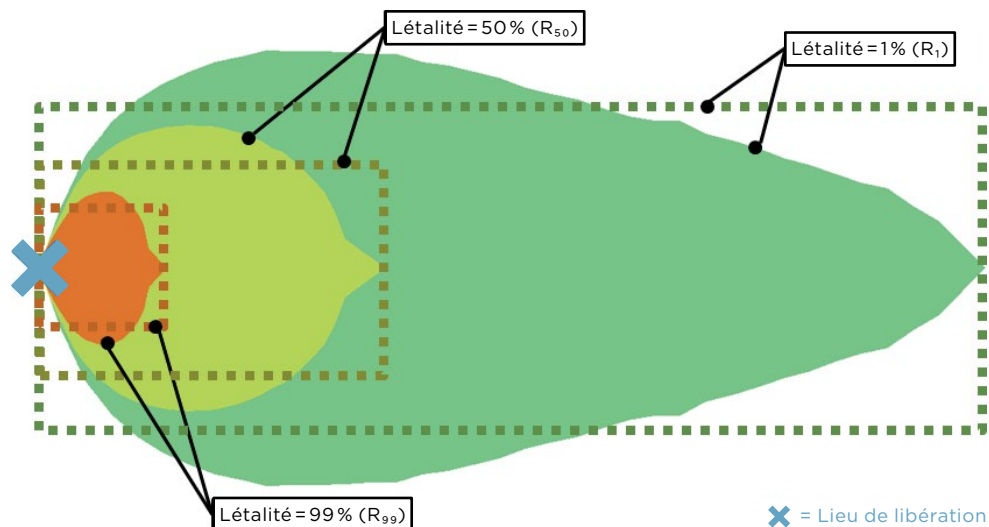
Détermination de la zone à risque

Méthodologie

Lorsque la propagation de gaz est calculée avec des outils informatiques, les surfaces obtenues sont généralement en forme de gouttes. Dans la partie marginale de celles-ci, il y a une létalité moyenne définie pour les personnes qui s'y tiennent pendant un certain temps. Pour estimer l'ampleur des dommages, on part des zones à risque qui présentent, dans leur partie marginale, une létalité moyenne de respectivement 99 %, 50 % et 1 %. Pour simplifier la situation, les surfaces de ces zones sont transformées en rectangles. Pour opérer cette transformation, la longueur et la surface de la zone à risque sont conservées ; la largeur, elle, est adaptée en conséquence (voir figure 39). Cette simplification entraîne une légère surestimation de la zone à risque à proximité de l'installation et dans la partie la plus éloignée ainsi qu'à une légère sous-estimation dans la partie centrale. Cet écart ne comporte toutefois que quelques mètres.

- | | |
|----|--|
| 50 | Cette affirmation est vraie à condition que la surface de la flaque soit limitée (règles de la technique selon SN EN 378-2 (Lit. [23]), chapitre 5.17.2.1.) |
| 51 | On présume que 20 % de l'ammoniac libéré s'évaporent spontanément et que 20 autres pour cent sont emportés sous forme d'aérosol. (Selon Lit. [6], « importante libération spontanée en plein air »). |
| 52 | Les libérations spontanées du séparateur ne peuvent être que la conséquence de rares impacts très violents. Il faut escompter que dans le cas d'un tel événement, l'enveloppe du bâtiment serait également gravement endommagée. Celle-ci ne pourrait alors plus retenir que partiellement le mélange gaz/aérosol. |

Figure 39 : Les surfaces des zones à risque sont simplifiées en rectangles de même surface.



Modélisation de la propagation et de l'effet

Pour aider les auteurs de rapports succincts, les modélisations de la propagation pour les scénarios typiques devant être pris en compte à ce niveau ont été précalculées. Ces calculs ont été effectués avec le logiciel EFFECTS (version 9) de TNO (Lit. [15]) et reposent sur les paramètres tels qu'ils sont définis dans la présente annexe. Vu la grande ampleur des calculs réalisés, nous renonçons à documenter intégralement les résultats. Les résultats pertinents sont résumés plus bas.

Zones à risque pour l'estimation de l'ampleur au niveau du rapport succinct

Les graphiques qui suivent permettent de déterminer l'extension des zones à risque pour différents taux de libération.

Figure 40 : Libération spontanée, modèle du gaz lourd : létalité 1%

La longueur et la largeur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 1\%$ pour une libération avec terme source spontané ; part d'aérosol 50 %.

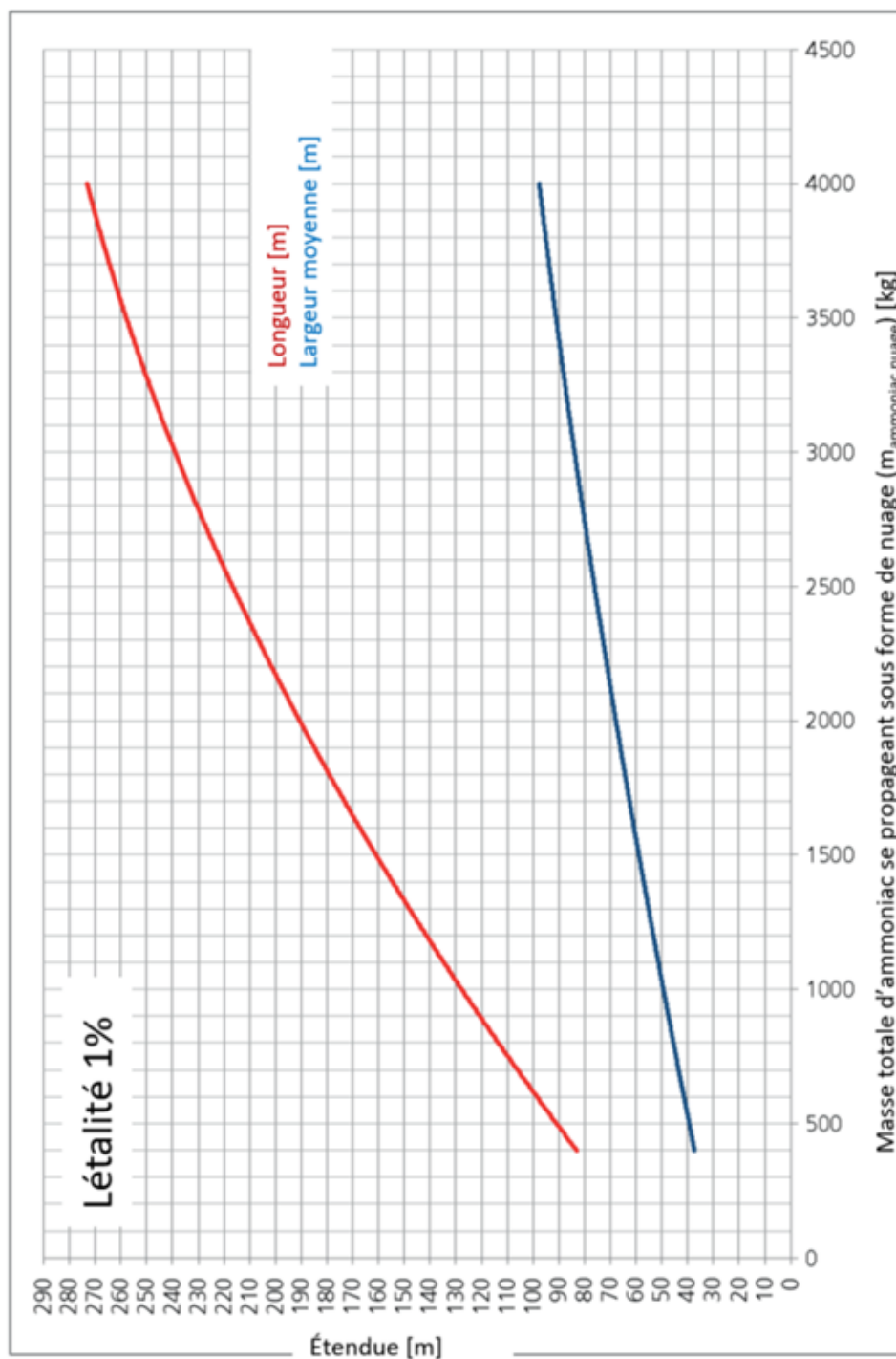


Figure 41 : Libération spontanée, modèle du gaz lourd : létalité 50 %

La longueur et la largeur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 50\%$ pour une libération avec terme source spontané ; part d'aérosol 50 %.

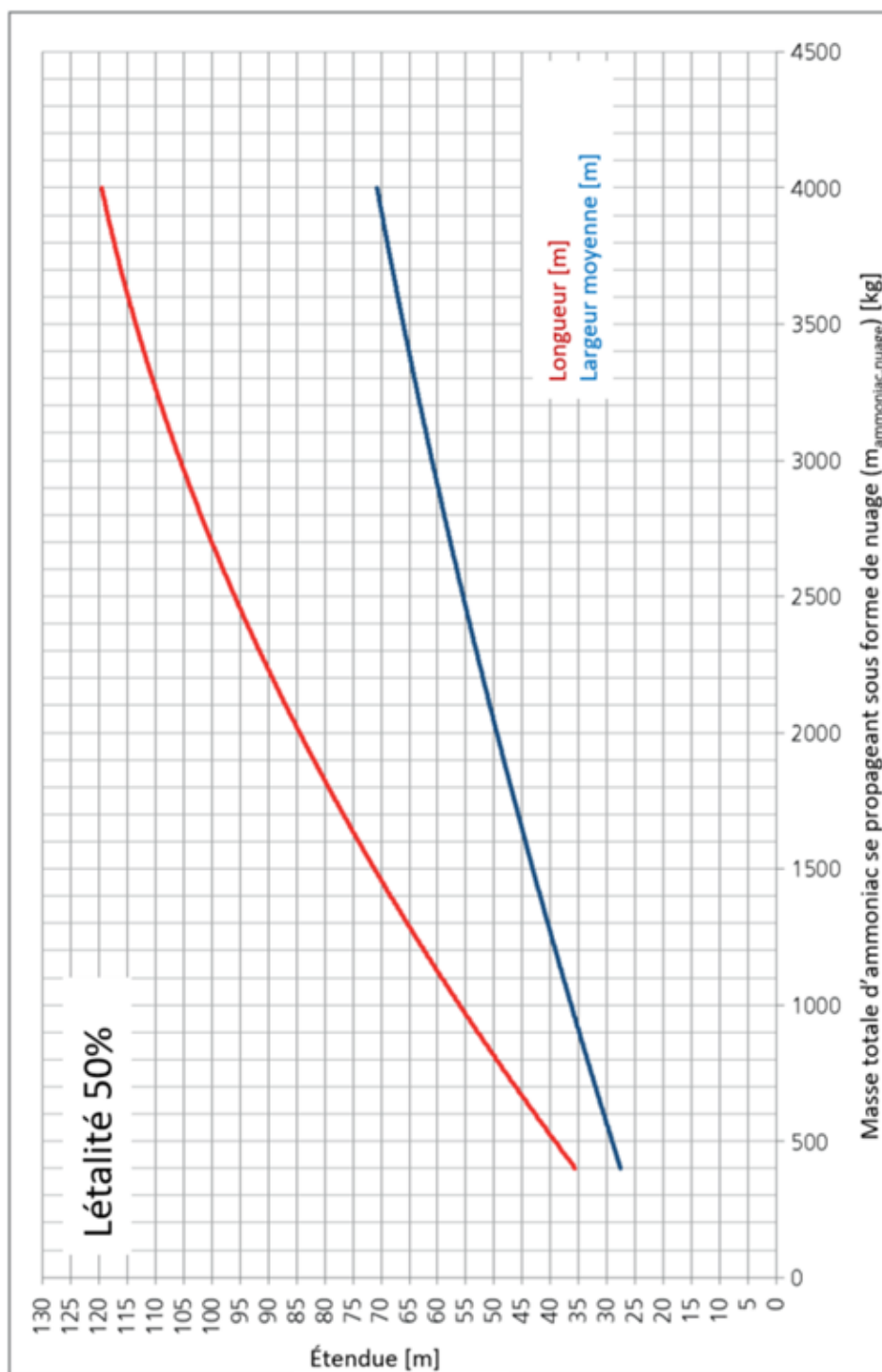


Figure 42 : Libération spontanée, modèle du gaz lourd : létalité 99 %

La longueur et la largeur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 99\%$ pour une libération avec terme source spontané ; part d'aérosol 50 %.

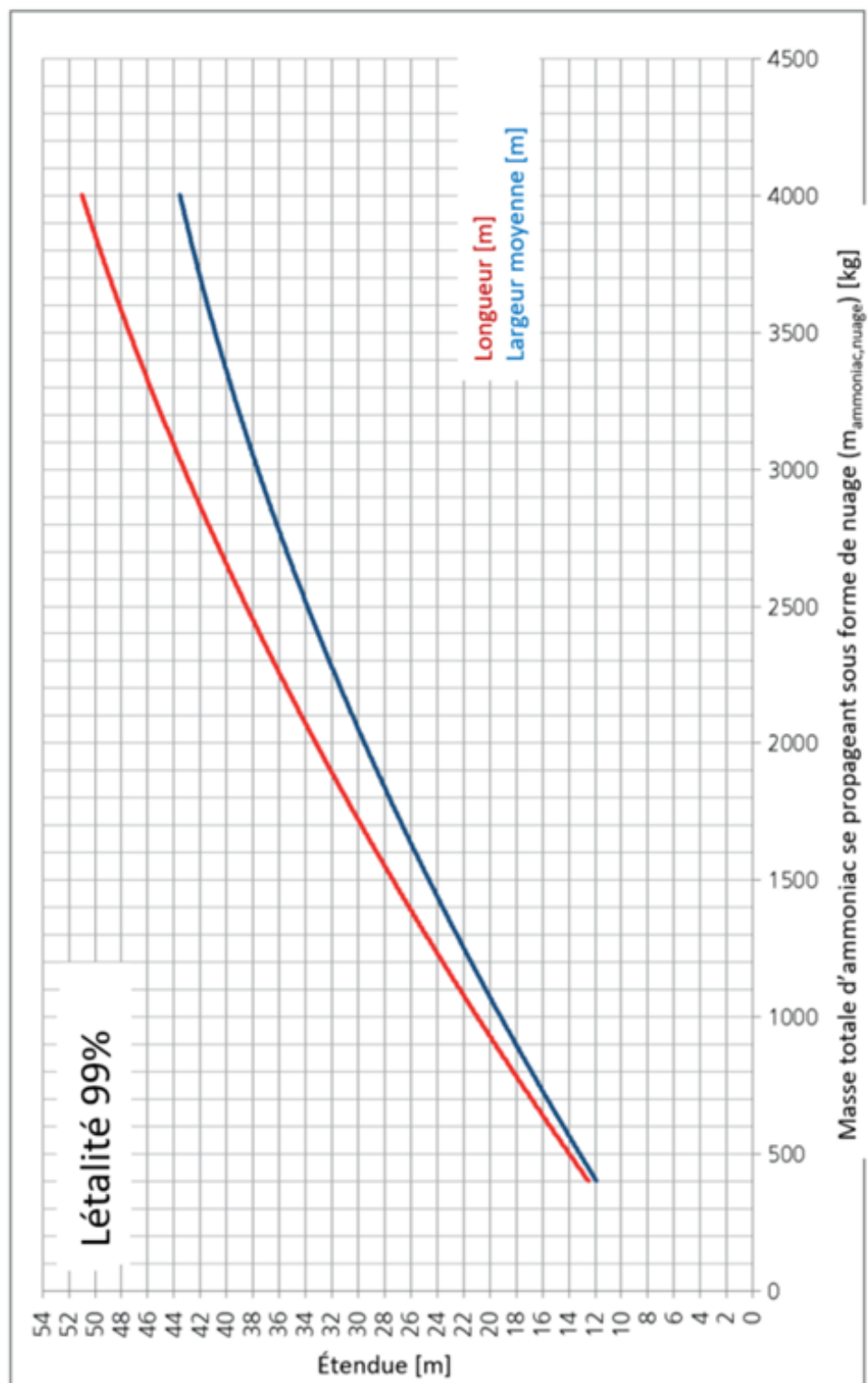


Figure 43 : Libération continue, modèle du gaz lourd : létalité 1%

Libération en plein air, propagation sous forme de gaz lourd, part d'aérosol dans le nuage = 80 %
 La longueur et la largeur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 1\%$ pour une libération avec terme source continu ; part d'aérosol 80 %.

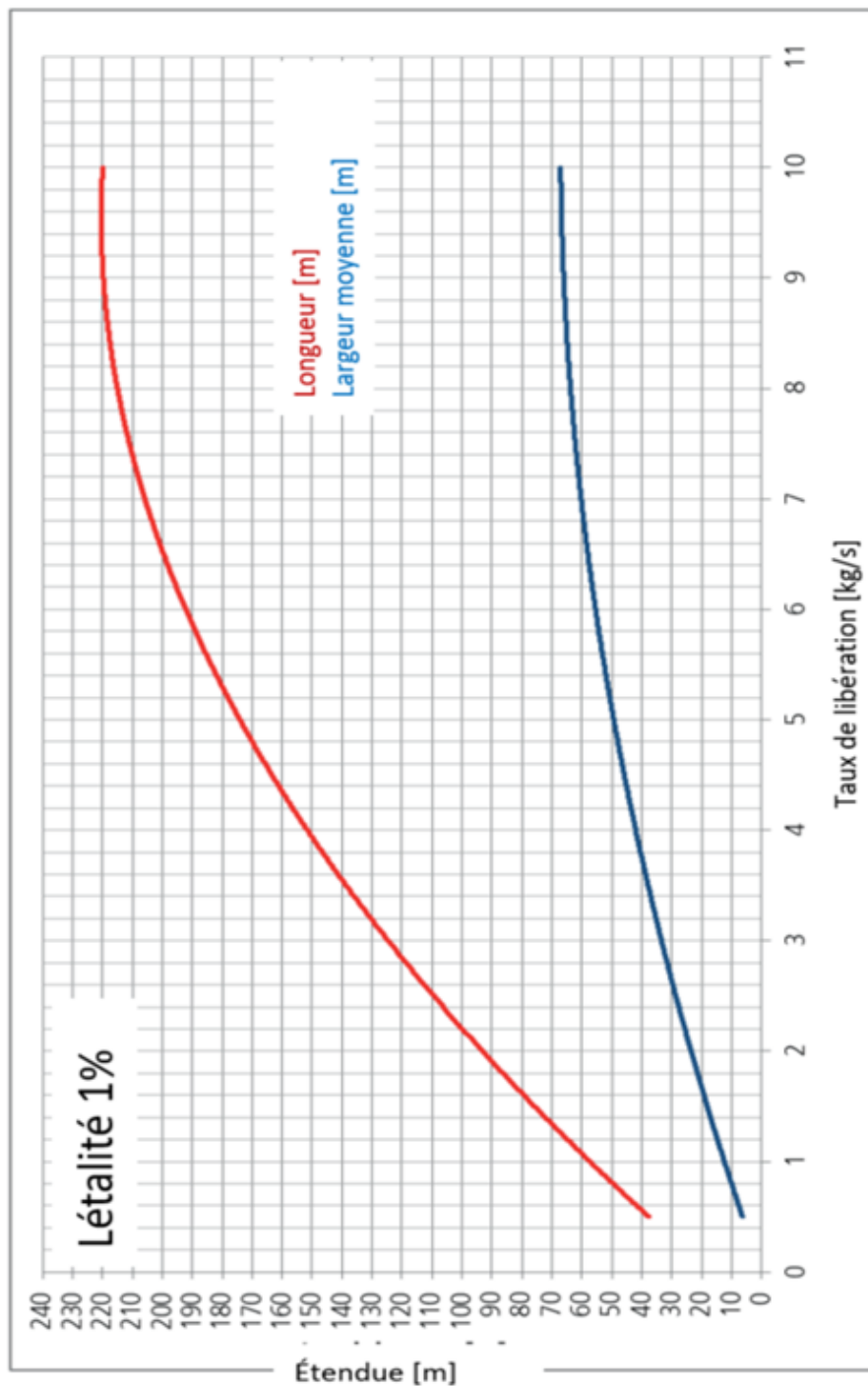


Figure 44 : Libération continue, modèle du gaz lourd : létalité 50 %

La longueur et la largeur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 50\%$ pour une libération avec terme source continu ; part d'aérosol 80 %.

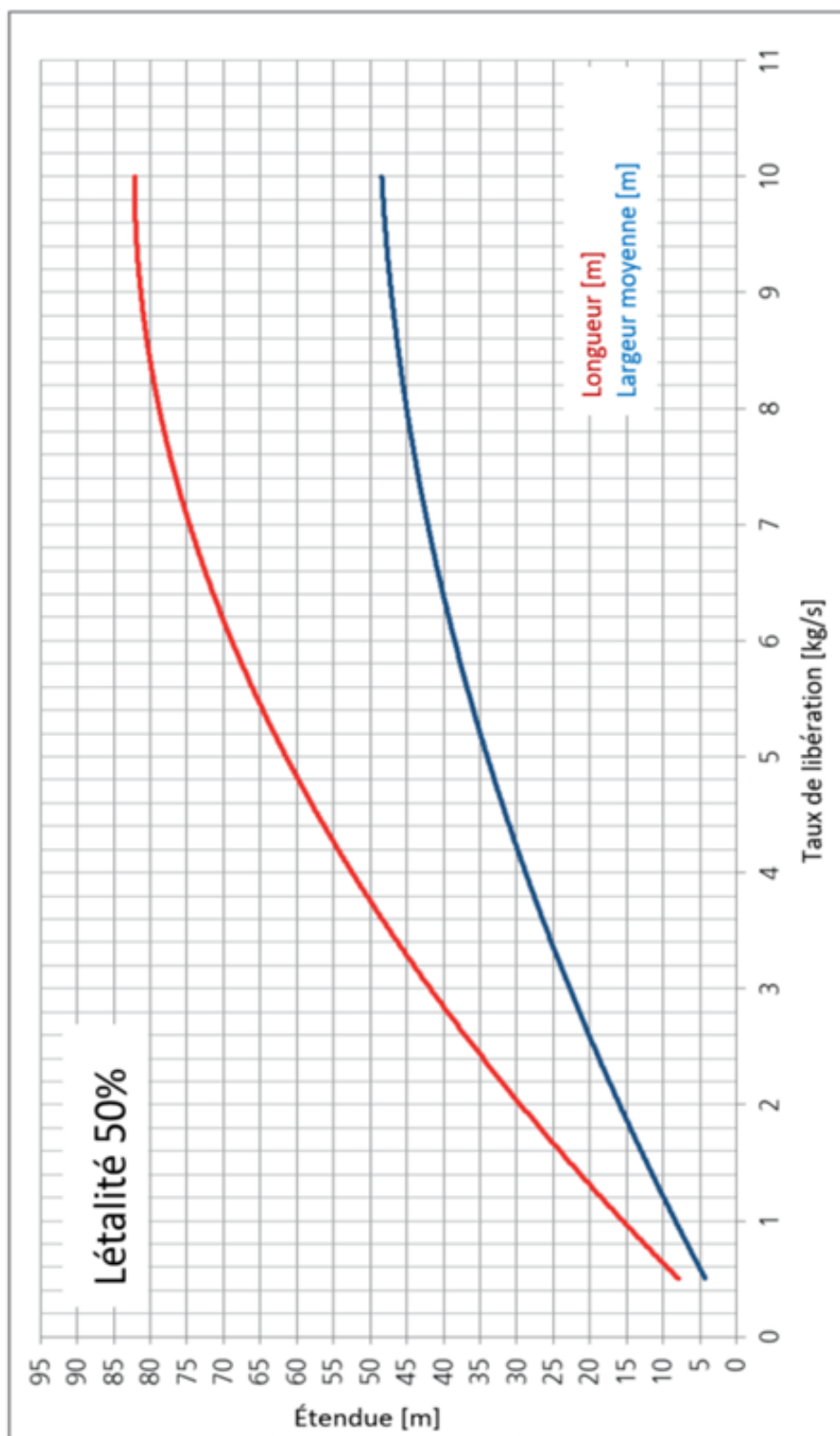
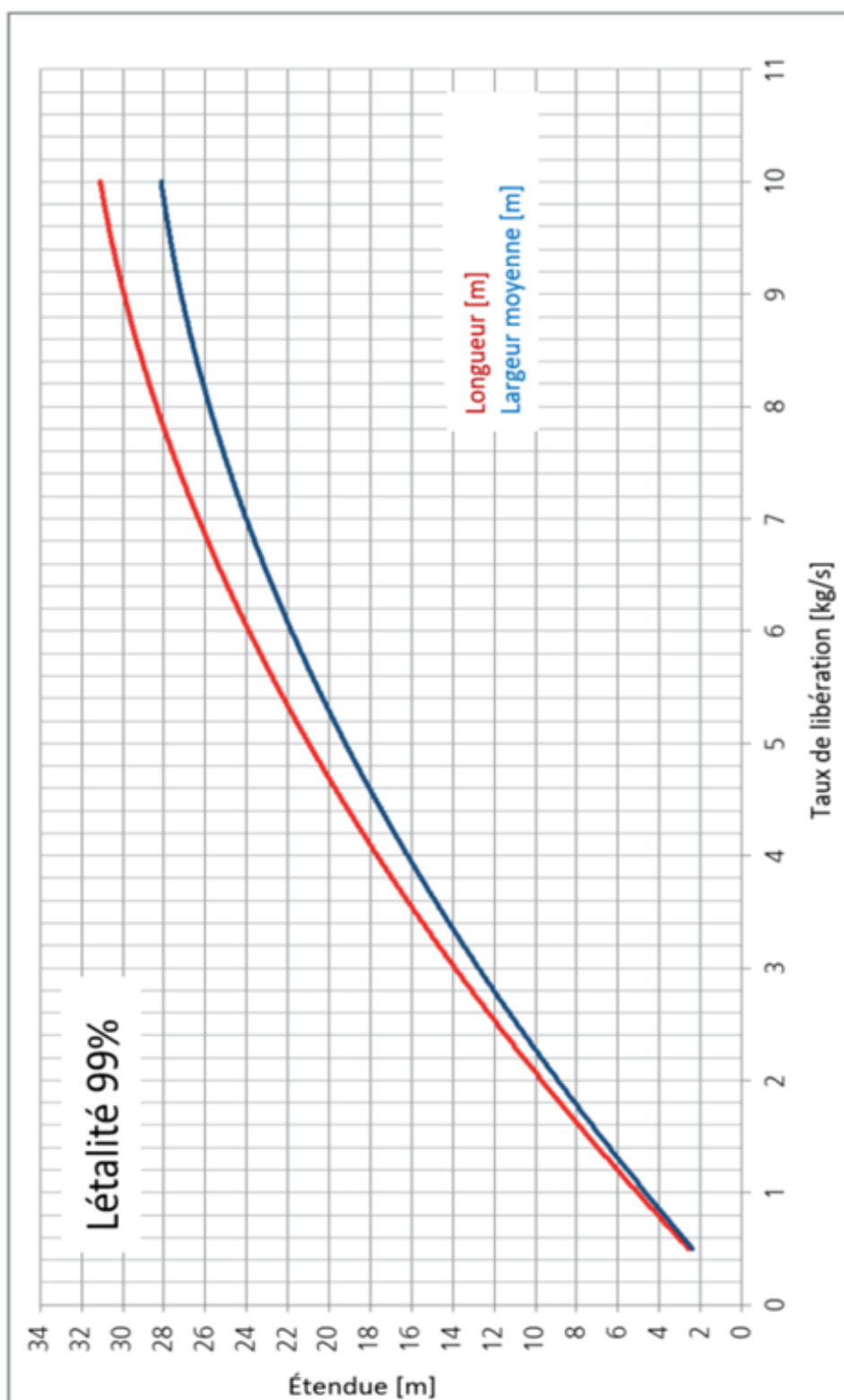


Figure 45 : Libération continue, modèle du gaz lourd : létalité 99 %

La longueur et la largeur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 99\%$ pour une libération avec terme source continu ; part d'aérosol 80 %.



Libération continue, modèle du gaz neutre

Libération par l'aération, propagation sous forme de gaz neutre.

Remarque

La zone à risque pour la propagation sous forme de gaz neutre dépend fortement de la hauteur de libération. Si la libération dans l'environnement de l'installation a lieu à une très grande hauteur, la taille de la zone à risque selon les figures 46 à 51 sera largement surestimée. S'il ressort d'un tel scénario, au niveau rapport succinct, qu'il y a lieu d'escompter des dommages graves d'une ampleur maximale, il est indiqué de procéder à des calculs de propagation en utilisant la hauteur effective de libération de l'installation.

Figure 46 : Libération continue, modèle du gaz neutre : longueur pour une létalité de 1 %

Longueur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 1\%$, pour une libération avec terme source continu et une propagation sous forme de gaz neutre.

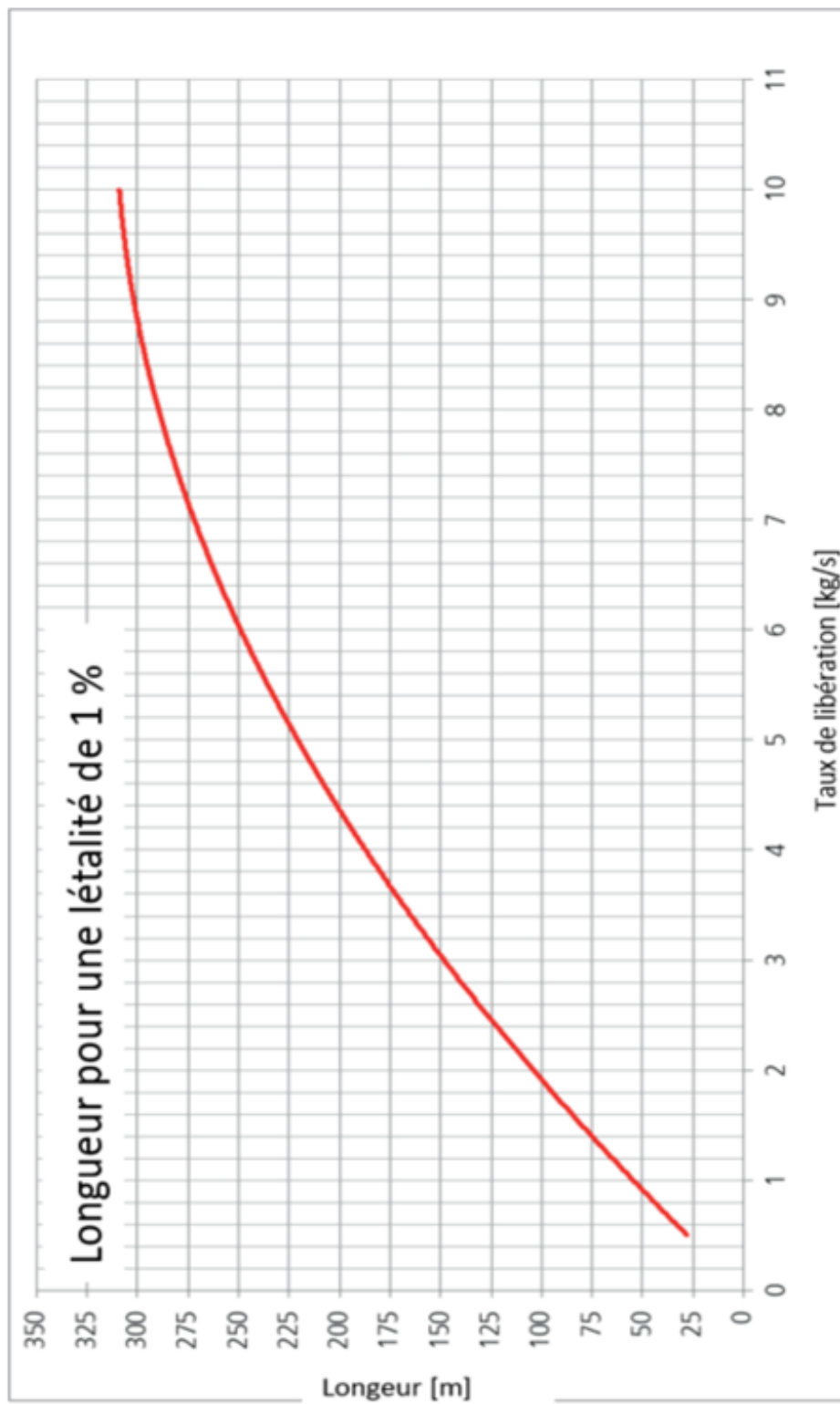


Figure 47 : Libération continue, modèle du gaz neutre : largeur moyenne pour la létalité de 1%
Largeur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 1\%$, pour une libération avec terme source continu et une propagation sous forme de gaz neutre.

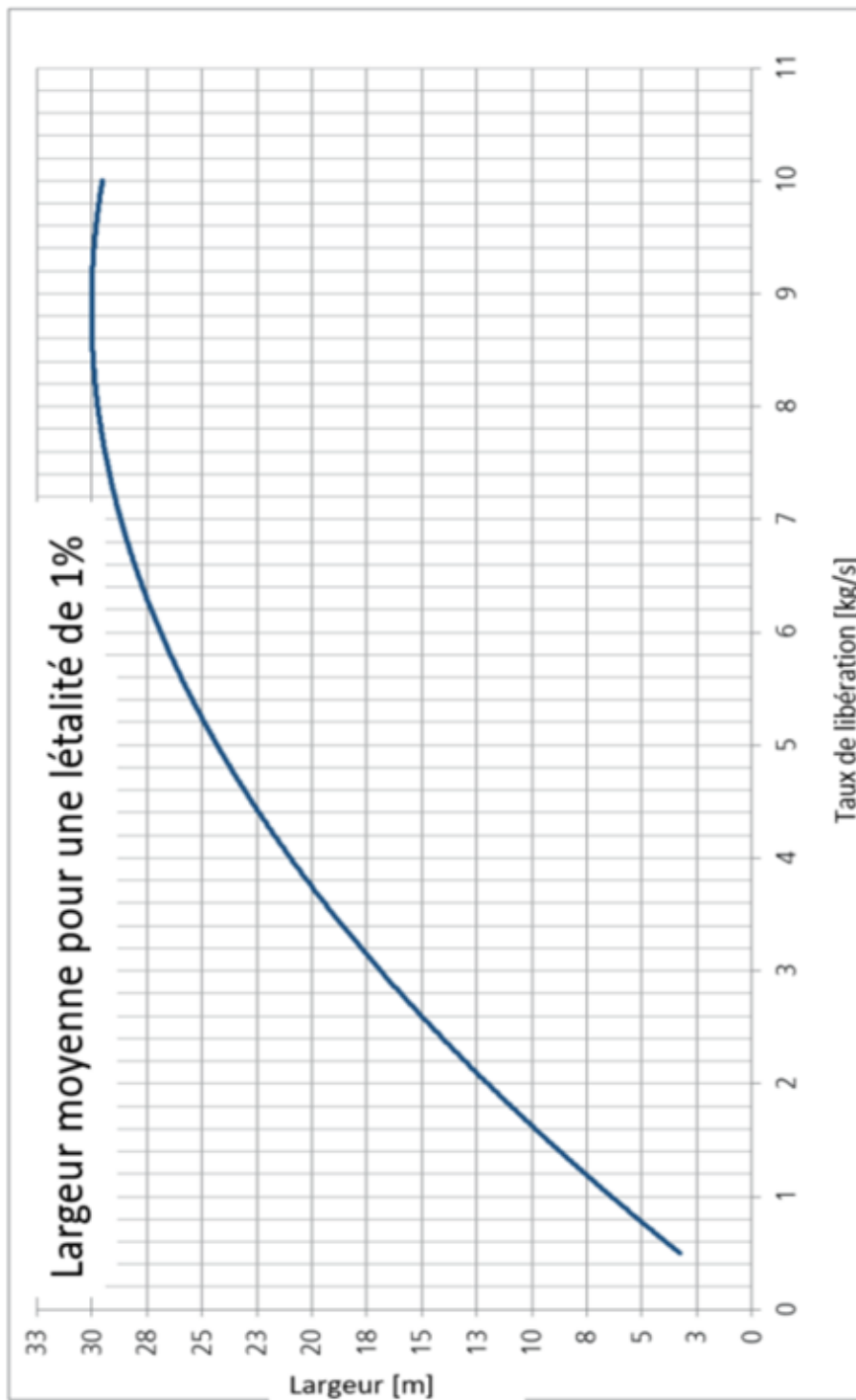


Figure 48 : Libération continue, modèle du gaz neutre : longueur pour une létalité de 50 %
Longueur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 50\%$, pour une libération avec terme source continu et une propagation sous forme de gaz neutre.

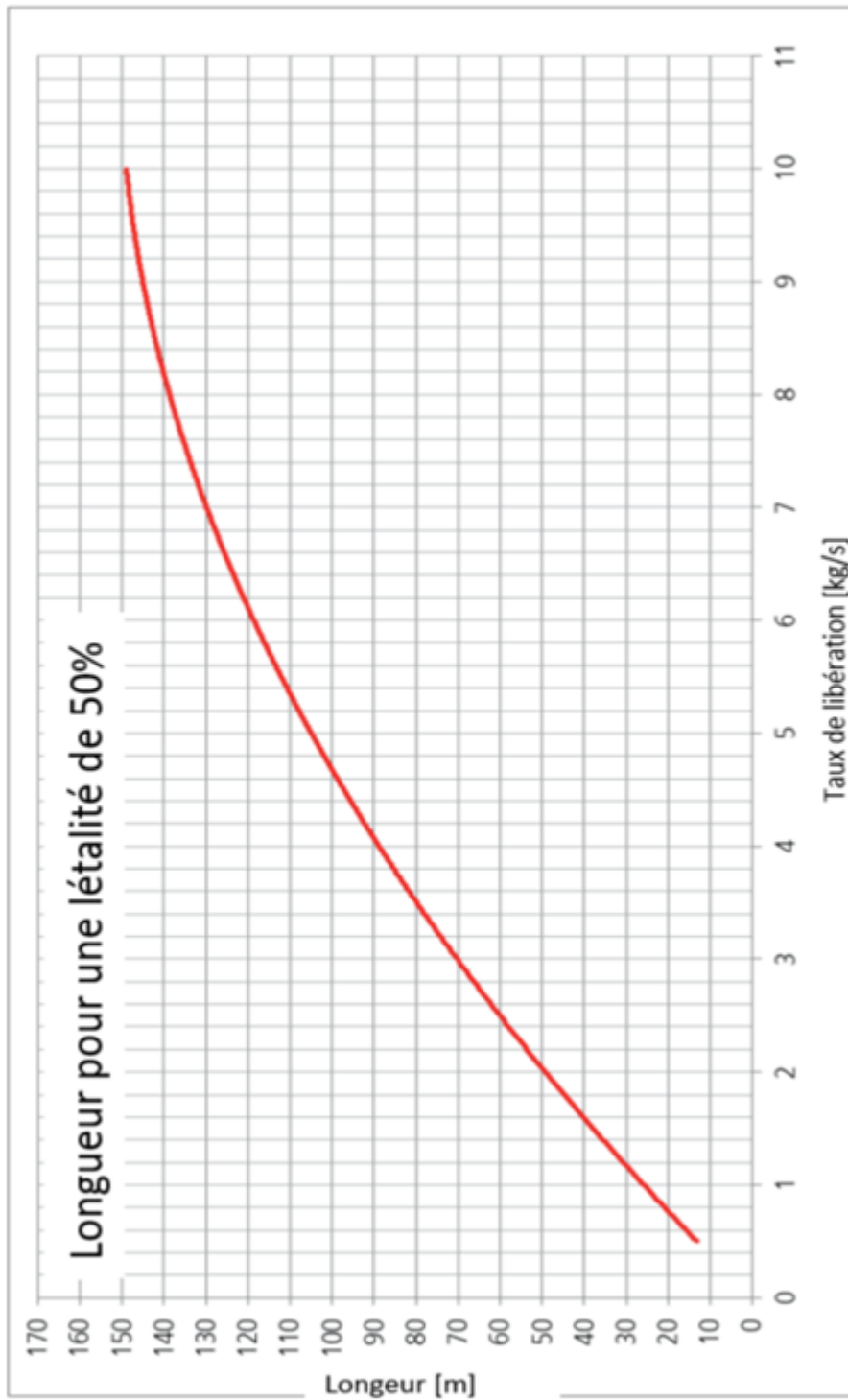


Figure 49 : Libération continue, modèle du gaz neutre : largeur moyenne pour la létalité de 50 %
Largeur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 50\%$, pour une libération avec terme source continu et une propagation sous forme de gaz neutre.

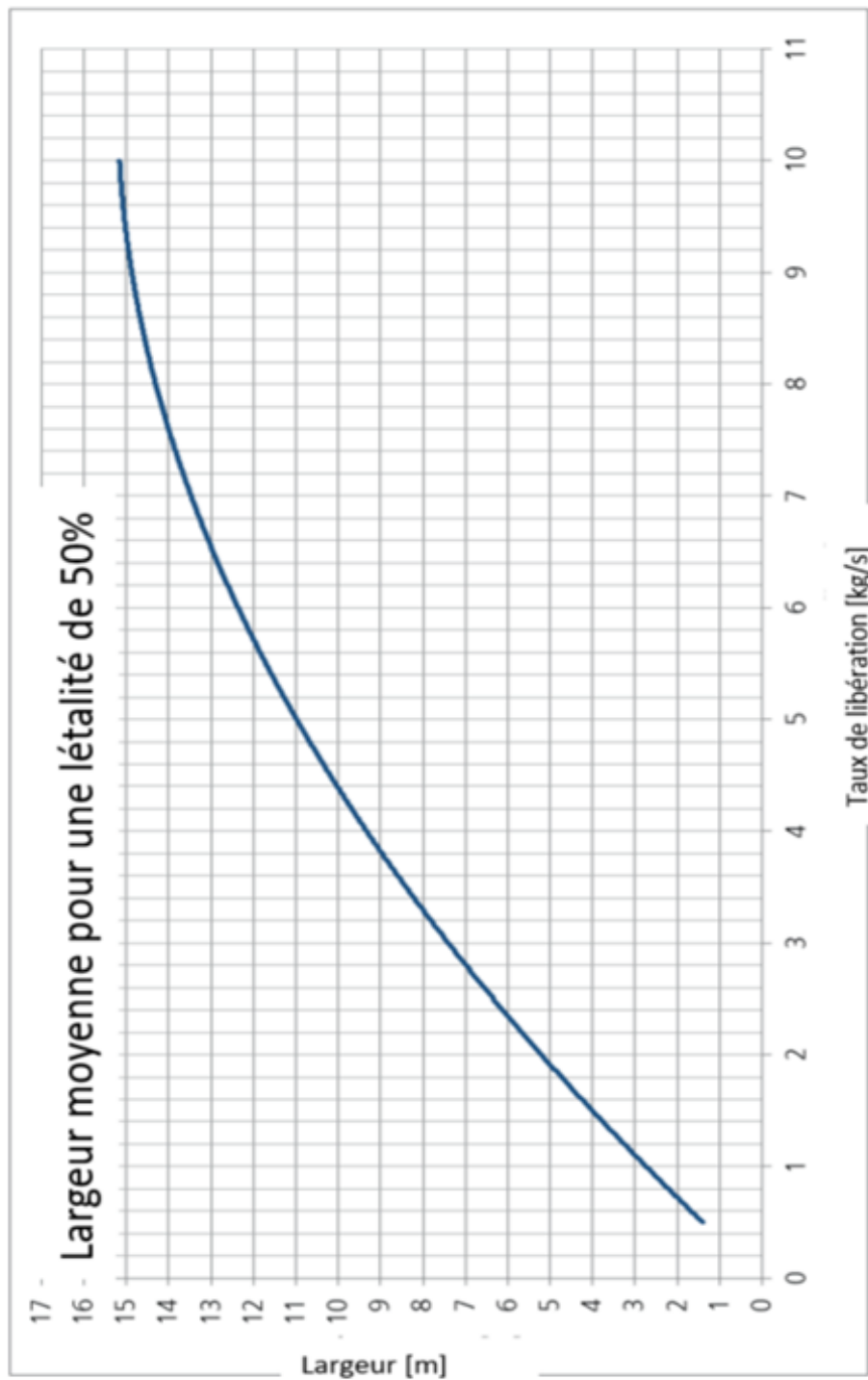


Figure 50 : Libération continue, modèle du gaz neutre : longueur pour une létalité de 99 %
Longueur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 99\%$, pour une libération avec terme source continu et une propagation sous forme de gaz neutre.

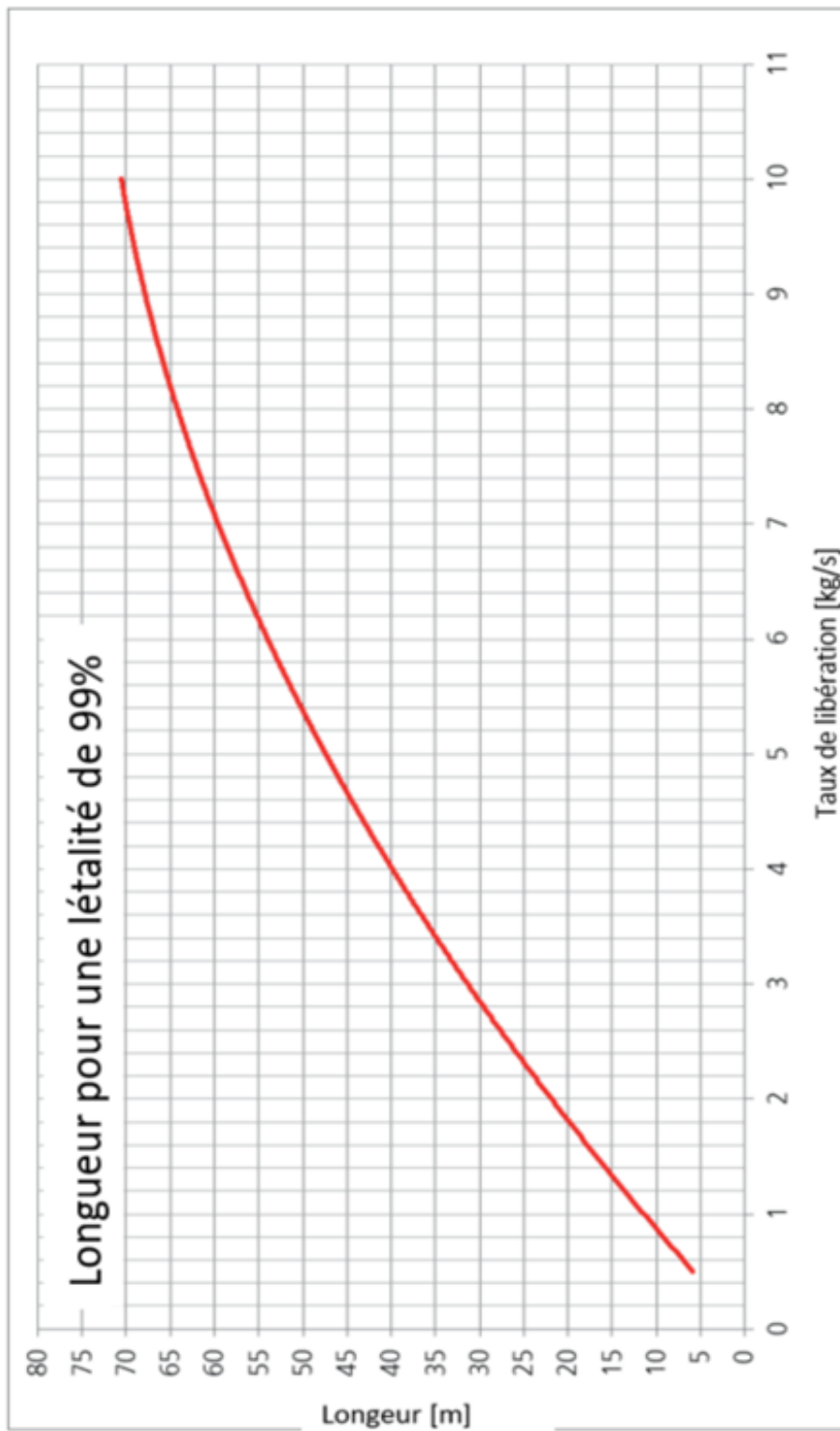
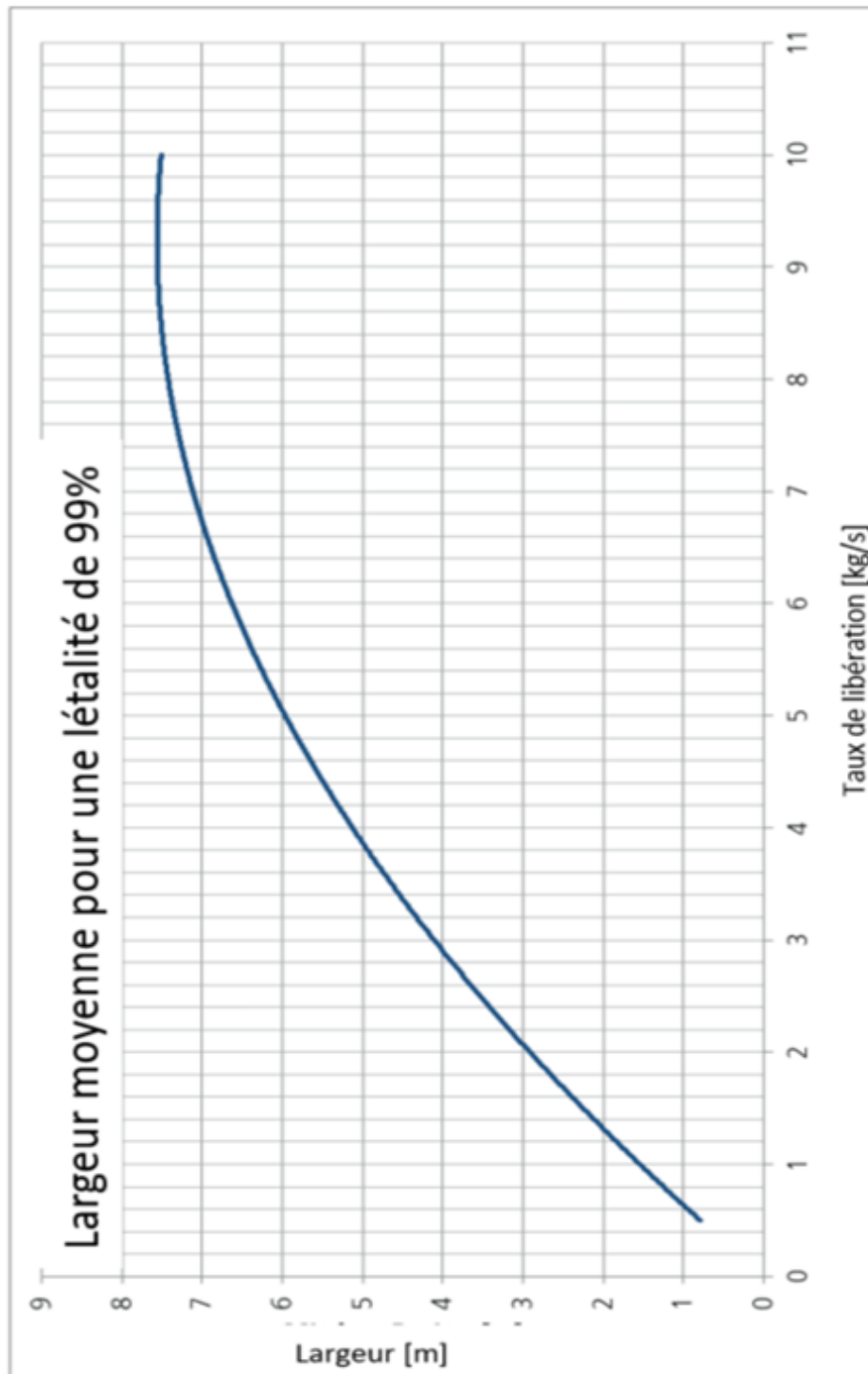


Figure 51 : Libération continue, modèle du gaz neutre : largeur moyenne pour la létalité de 99 %
Largeur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 99\%$, pour une libération avec terme source continu et une propagation sous forme de gaz neutre.



Calcul des taux de létalité moyens

La relation entre la concentration d'ammoniac et la létalité des personnes exposées est déterminée à l'aide des calculs Probit selon TNO⁵³). Dans la mesure du possible, il faudrait déterminer la létalité en se fondant sur la dose accumulée. Si le logiciel utilisé ne permet pas de procéder de la sorte, il est possible également de partir d'une concentration constante pendant une durée définie. Le tableau 18 indique la relation entre la létalité moyenne et une exposition pendant 10 min., pour une concentration d'ammoniac constante.

Tableau 18 : Relation entre la concentration d'ammoniac et la létalité (exposition pendant 10 min. à 20 °C).

Relation entre la concentration d'ammoniac et la létalité	Concentration d'ammoniac ⁵⁴⁾
Létalité	
99 %	42 500 ppm (correspond à 30 500 mg/m ³)
50 %	13 300 ppm (correspond à 9 400 mg/m ³)
1 %	4 150 ppm (correspond à 2 940 mg/m ³)

53 Paramètres Probit a = 2,0, b = 1,0, n = -15,6 (unité min*mg/m³ ; source : TNO, Yellow Book, 2005)

54 Si le logiciel utilisé le permet, il convient de déterminer les périmètres de létalité par le biais de la dose accumulée et non pas de la concentration. Les concentrations indiquées ont été obtenues par des calculs Probit reposant sur les hypothèses suivantes : Paramètres Probit a = 2,0, b = 1,0, n = -15,6 (unité min*mg/m³ ; source : TNO, Yellow Book, 2005) ; durée d'exposition = 10 min ; température = 293 K.