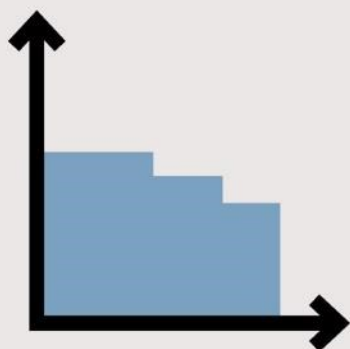
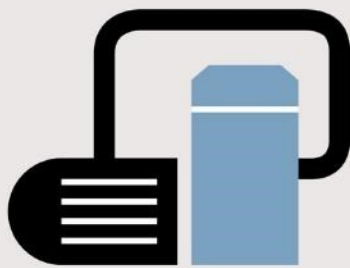


Prévention des accidents majeurs liés aux installations frigorifiques

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 ?

3 juillet 2023



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, FR, LU, ZH

Mandataire

EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich
Schweiz
Telefon +41 44 395 16 16
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Équipe de projet et auteurs

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

État: novembre 2023

Groupe d'experts 2023

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Dr. M. Merkofer

M. Hösli

SSP Kälteplaner AG, Vertretung Schweizerischer Verein für Kältetechnik (SVK)

M. Bernhofen

B. Schmutz

Schweizerische Gesellschaft für Kunsteisbahnen (GSK)

M. Bertozzi

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

D. Burkart

Kantonales Laboratorium Basel-Stadt, Chemie- und Biosicherheit

T. Christen

Amt für Natur und Umwelt des Kantons Graubünden

A. Degonda

Amt für Verbraucherschutz des Kantons Aargau, Chemiesicherheit

A. Feurer

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

Dr. D. Huber

suva

Dr. M. Juch

Kantonales Laboratorium Bern, Umweltsicherheit

Dr. Ph. Kindler

Association Suisse du Froid (ASF) / Schweizerischer Verband für Kältetechnik

P. Chatelan

P.-A. Giroud

Roche AG

C. Stirnimann

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 1er décembre 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 pour l'exécution de l'OPAM.

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.

**Paul Steffen, vice-directeur
de l'Office fédéral de
l'environnement (OFEV)**

Table des matières

Index des modifications	7
Introduction	8
Objectifs et définition des tâches	8
Différents fluides frigorigènes	9
Focalisation	11
Exécution de l'OPAM pour les installations frigorifiques utilisant de l'ammoniac : déroulement général	12
1. Types d'installations	16
1.1 Modes de construction	16
1.2 Domaines d'utilisation typiques des installations frigorifiques	23
2. Installations soumises sans atteindre le seuil quantitatif	25
2.1 Introduction	25
2.2 Installations n'atteignant pas le seuil quantitatif : pertinentes ou non pour les accidents majeurs ou non ?	26
3. Règles de la technique / État de la technique de sécurité	40
3.1 Introduction	40
3.2 Installations utilisant l'ammoniac comme fluide frigorigène	41
3.3 Mesures de sécurité supplémentaires	49
4. Rapport succinct : estimer l'ampleur des dommages	52
4.1 But et ampleur	52
4.2 Types d'événements à examiner	53
4.3 Aperçu de la démarche	54
4.4 Libération d'ammoniac	56
4.5 Propagation du nuage toxique	66
4.6 Estimation de l'ampleur des dommages	68
5. Comparaison des systèmes de réfrigération	71
5.1 Quand une telle comparaison est-elle judicieuse ?	71
5.2 Envergure : permettre un aperçu global	72
5.3 Exemple schématique	74
5.4 Interprétation : les adaptations permettent-elles d'atteindre les objectifs visés, sont-elles économiquement supportables et proportionnelles ?	75

6. Étude de risque	76
6.1 But et ampleur	76
6.2 Méthodologie	76
6.3 Types d'événements à examiner	76
6.4 Bases pour la détermination de la fréquence	77
6.5 Quantité libérée ou taux de libération	80
6.6 Propagation du nuage toxique	81
6.7 Estimation de l'ampleur des dommages	81
Glossaire	84
Bibliographie	89
Autres sources pertinentes	92

Annexes

A1 Évaluation de pannes et d'accidents majeurs	93
A2 Évaluation d'études de risque et de rapports succincts existants	94
A3 Dérivation des critères pour soumettre les installations	96
A3.1 Propagation de l'ammoniac	96
A3.2 Modélisation de la propagation et de l'effet	100
A3.3 Détermination de la valeur limite pour le nombre de personnes se trouvant dans la zone à risque	106
A3.4 Exemple illustrant l'application des critères pour soumettre une installation	109
A4 Protection par les bâtiments	112
A5 Propagation du nuage toxique : hypothèses au niveau du rapport succinct	115
A5.1 Propagation de l'ammoniac	115
A5.2 Détermination de la zone à risque	121
A5.3 Modélisation de la propagation et de l'effet	121
A6 Effectif de personnes dans les situations particulières	136

Index des modifications

Dans la présente version actualisée du rapport (état en juin 2023), les modifications du contenu ci-après ont été apportées. Les améliorations rédactionnelles ne sont pas explicitement mentionnées.

- En plus des installations frigorifiques, les pompes à chaleur commerciales et industrielles ont été intégrées dans l'ensemble du rapport.
- Au chapitre 2, une démarche pragmatique a été ajoutée pour les personnes qui ne sont ni des travailleurs, ni des habitants, mais qui sont présentes sporadiquement (situations particulières, y compris définition de ces dernières dans la nouvelle annexe 6). Elle permet d'apprécier quand les situations particulières doivent être prises en compte pour estimer l'ampleur des dommages.
- Le chapitre 3 a été entièrement remanié, et élargi, par exemple s'agissant du concept de sécurité, y compris la détection, l'alarme, la ventilation et le dispositif d'arrêt d'urgence.
- Le glossaire a été étendu et les définitions des termes complétées.
- Les sources et les références utilisées ont été mises à jour.

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 les entreprises utilisant ce type d'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 l'exécution de l'OPAM pour installations frigorifiques et améliorer la prise de conscience au sein de la branche pour la thématique des accidents majeurs. À cet effet, un groupe de travail largement étayé a élaboré des bases sur les sujets ci-après.



Chapitre 1 – Types d'installations

Il y a une grande variété dans la construction et l'utilisation des installations frigorifiques. Ce chapitre clarifie 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 entreprise utilisant 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 reconnues et l'état de la technique de sécurité évoluent en permanence. Ce chapitre résume les aspects 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.



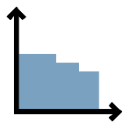
Chapitre 4 – Rapport succinct : Estimer l'ampleur des dommages

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 une installation présente un risque élevé, 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 des dommages 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 cinq fluides frigorigènes les plus courants sont brièvement décrits ci-dessous suivantes :

Ammoniac (R-717, NH₃)

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 le Cadastre fédéral des risques (CARAM) de 2021, il existe actuellement en Suisse quelque 150 installations frigorifiques qui dépassent le seuil quantitatif défini pour l'ammoniac dans l'OPAM (2 000 kg) et environ 10 entreprises soumises selon l'art. 1, al. 3, OPAM.

Avec la révision de l'ORRChim, les hydrofluorocarbures partiellement halogénés (HFC) ont été largement interdits comme fluide frigorigène à partir du 1^{er} décembre 2013 [Lit. 2]. Depuis lors, l'utilisation de l'ammoniac a continué à gagner en importance.

Dioxyde de carbone (R-744, CO₂)

Le CO₂ est utilisé à la fois comme réfrigérant et comme fluide frigorigène. 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. Étant donné qu'il n'y a pas de seuil quantitatif pour le CO₂, ce type d'installation n'est pas pertinent pour l'exécution de l'OPAM.

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 car le CO₂ a un effet asphyxiant dans l'air. Dès une concentration de 6 % en volume, il faut s'attendre à une perte de conscience en peu de temps et à des dommages irréversibles pouvant aller jusqu'à la mort. Comme le gaz a une densité plus élevée que l'air et qu'il est inodore, il peut s'accumuler aux points bas sans que l'on s'en aperçoive. Toutes les tentatives d'odoriser le CO₂, de façon efficace et à coût raisonnable, ont échoué jusqu'ici. La teneur en CO₂ de l'air ambiant peut être surveillée à l'aide de capteurs de gaz.

Propane (R-290, C₃H₈)

Depuis quelques années, le propane est de plus en plus utilisé dans les installations frigorifiques en Suisse. La raison principale réside dans les faibles valeurs exigées dans l'ORRChim pour le potentiel de réchauffement global (valeurs PRG)¹, de sorte que la préférence est donnée aux fluides frigorigènes naturels. Les installations, généralement de type compact avec circuits secondaires, contiennent une trentaine de kilogrammes de propane. Elles ne sont par conséquent pas pertinentes pour l'exécution de l'OPAM (seuil quantitatif pour le propane selon l'OPAM : 20 000 kg).

hydrofluorocarbures partiellement halogénés (HFC)

Les installations contenant des hydrofluorocarbures (HFC), tout comme celles contenant du propane, ne sont pas représentées dans les grandes plages de puissance, car depuis 2013, suite à l'entrée en vigueur de l'ORRChim révisée (le 1.12.2013, Lit. [2]), elles ne peuvent plus être autorisées que dans des cas exceptionnels et dans le domaine des faibles puissances.

Hydrofluoroléfines partiellement halogénées (HFO)

Les hydrofluoroléfines (HFO) sont aujourd'hui utilisées dans des installations compactes à eau froide et les pompes à chaleur. Ces fluides frigorigènes présentent de faibles valeurs PRG et satisfont donc à une exigence formulée dans l'ORRChim. Il est important de préciser que les HFO peuvent former de l'acide trifluoroacétique (TFA), et qu'ils peuvent en conséquence participer à la charge pour l'environnement. Il convient autant que possible de donner la préférence aux fluides frigorigènes naturels.

¹ Le potentiel de réchauffement de la planète émanant des gaz à effet de serre est défini par le potentiel de réchauffement global (PRG) (Global Warming Potential (GWP)). La valeur de référence est l'efficacité climatique du CO₂, auquel est attribué un GWP de 1.

Focalisation

En Suisse, l'ammoniac est le fluide frigorigène qui revêt la plus grande importance eu égard à la prévention des accidents majeurs, en raison de son potentiel de danger et de ses applications fréquentes. C'est pourquoi le présent rapport est focalisé sur cette substance et les dommages qu'elle est susceptible de causer à la population. Cette thématique est traitée en profondeur, car ces risques dominent en règle générale en cas d'accident majeur. Les dommages à l'environnement, eux, ne sont abordés que ponctuellement.

S'agissant de l'objet à protéger qu'est la « population », il faut préciser que la prévention des accidents majeurs ne tient compte que des « tiers », à savoir des personnes qui ne travaillent pas pour l'entreprise considérée. En effet, le personnel de cette dernière relève de la protection des travailleurs. Les tiers peuvent être touchés par un accident majeur à l'extérieur ou à l'intérieur du périmètre de l'entreprise. À l'extérieur, il peut s'agir de riverains ou de personnes travaillant dans des entreprises voisines. À l'intérieur, ce seront par exemple des personnes qui assistent à une manifestation (stades, patinoires, musées) ou qui sont actives sur place (terrains de sport et installations de loisirs).

Le rapport porte aussi bien sur les installations frigorifiques que sur les pompes à chaleur. En comparaison des installations frigorifiques, les pompes à chaleur fonctionnent avec des pressions plus élevées, entre 40 et 70 bars environ. De plus, elles sont utilisées dans des environnements où se trouvent de nombreuses personnes, par exemple à proximité de résidences ou d'installations sensibles telles que des hôpitaux ou des EMS. Leur puissance étant habituellement bien inférieure à celle des installations frigorifiques, elles contiennent moins d'ammoniac, la quantité se situant très nettement en dessous du seuil quantitatif. Il n'est indiqué de soumettre de telles entreprises à l'OPAM que dans des cas isolés, pour des pompes à chaleur utilisées à des fins commerciales ou industrielles dans un environnement à forte concentration de personnes.

Exécution de l'OPAM pour les installations frigorifiques et pompes à chaleur utilisant de l'ammoniac : déroulement général

Installations utilisant ≤ 2 t d'ammoniac

Les entreprises sur le site desquelles les installations contenant de l'ammoniac ne dépassent pas une quantité totale de 2 t d'ammoniac ne tombent en principe pas dans le champ d'application de l'OPAM. Si l'autorité d'exécution peut démontrer qu'une installation pourrait néanmoins porter gravement atteinte à la population (ou à l'environnement) en cas d'événements extraordinaires, elle peut soumettre l'entreprise au champ d'application de l'ordonnance en vertu de l'art. 1, al. 3, let. a, OPAM. La figure 1 illustre la procédure permettant à l'autorité d'exécution de juger de l'opportunité d'une telle mesure. La procédure est brièvement décrite ci-dessous : Les règles de la technique doivent être respectées pour les installations, quelle que soit leur quantité de remplissage (décrites au chapitre 3).

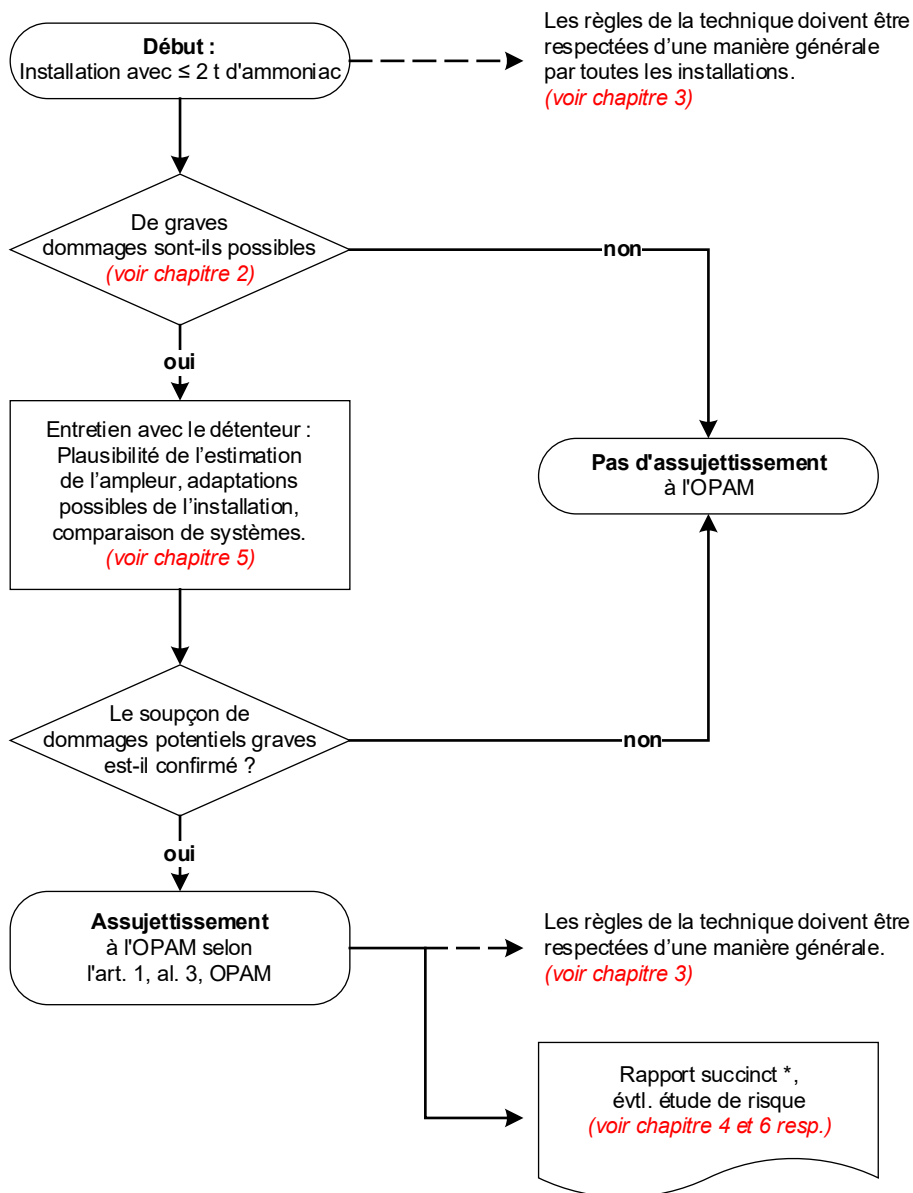
Pour vérifier si des dommages graves sont possibles dans des installations contenant jusqu'à 2 tonnes d'ammoniac, on peut appliquer le modèle simple du chapitre 2. Si le résultat montre qu'il n'y a pas lieu de s'attendre à des dommages graves, l'exploitation n'est pas assujettie en raison de l'installation frigorifique. Si les analyses effectuées à l'aide du modèle révèlent que des dommages graves sont en principe possibles, l'autorité d'exécution détermine, lors d'entretiens avec le détenteur, si les hypothèses retenues sont plausibles. En outre, elle examine si des mesures simples peuvent être prises pour exclure des dommages graves.

S'il s'avère que des dommages graves sont plausibles, le détenteur peut, après concertation avec l'autorité d'exécution, renoncer à l'établissement d'un rapport succinct si celui-ci ne permet pas d'obtenir de nouvelles informations. Il peut alors établir directement une détermination des risques.

Les entreprises soumises à l'OPAM sont tenues de mettre en œuvre toutes les mesures de sécurité appropriées pour réduire les risques conformément à l'art. 3 OPAM (décrites au chapitre 3).

Les propriétaires et les planificateurs d'installations sont tenus d'évaluer de manière proactive les projets de nouvelles constructions à l'aide des modèles décrits dans le rapport. Le cas échéant, les détenteurs devraient prendre contact suffisamment tôt avec l'autorité d'exécution de l'OPAM afin d'éviter des retards inutiles dans les projets et de minimiser le surcroît de travail de planification et de construction.

Figure 1 : Entreprises (installations frigorifiques et pompes à chaleur) utilisant jusqu'à 2 t d'ammoniac : démarche à suivre pour la prévention des accidents majeurs.



* Avec l'accord de l'autorité, il est également possible d'établir directement une étude de risque, s'il n'y a pas lieu d'attendre de nouveaux éléments d'un rapport succinct.

Entreprises avec plus de 2 t d'ammoniac

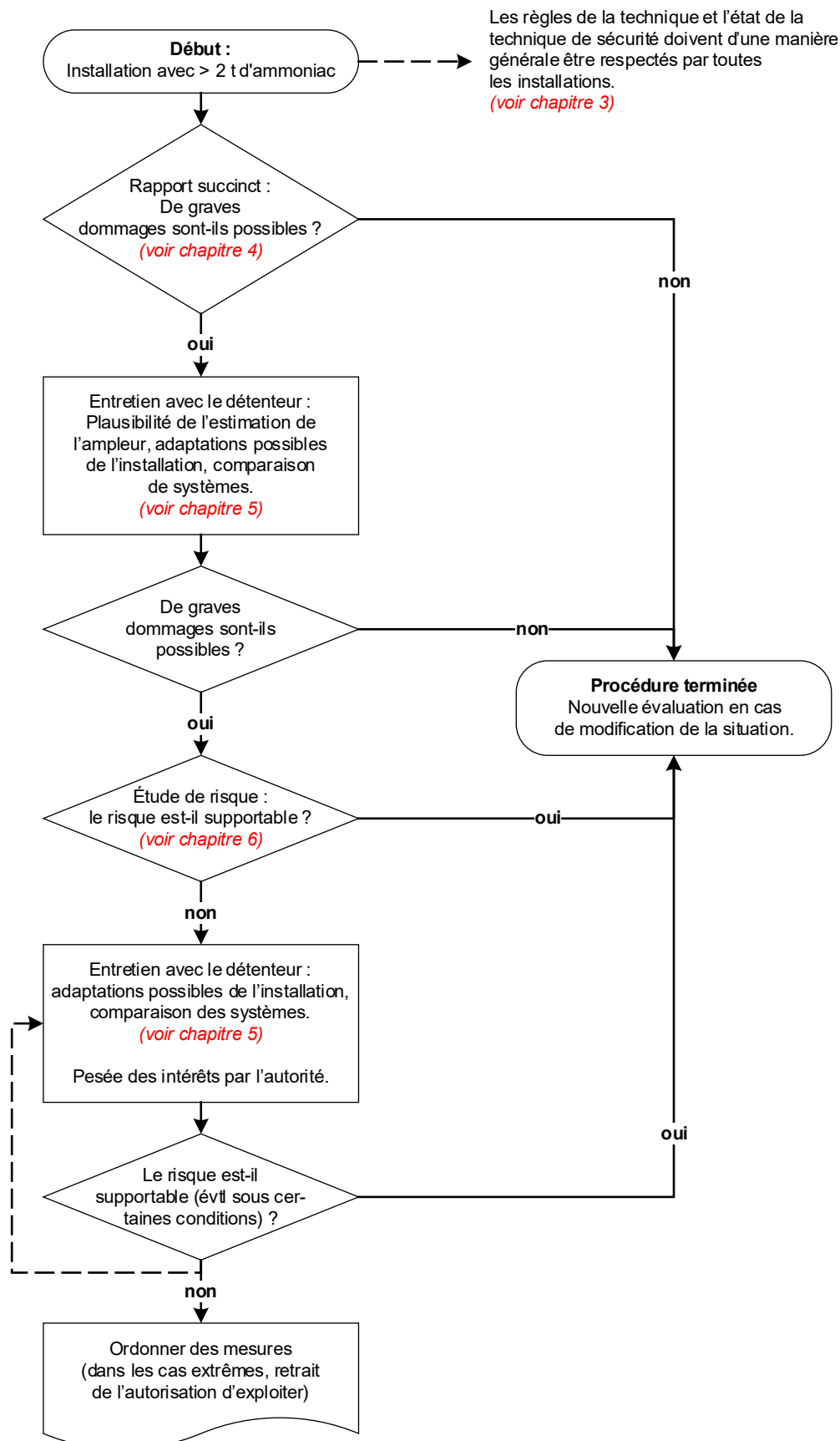
Lorsque plus de 2 t d'ammoniac au total sont stockées sur l'aire d'une entreprise, celle-ci tombe sous le coup de l'OPAM, vu que le seuil quantitatif est dépassé. La procédure de contrôle et d'évaluation selon l'OPAM qui s'impose dans ce cas prévoit différentes tâches pour le détenteur et pour l'autorité d'exécution. La démarche générale à suivre est schématisée dans la Figure 2.

En principe, ces installations doivent respecter les règles de la technique et les mesures de sécurité appropriées selon l'art. 3 OPAM.

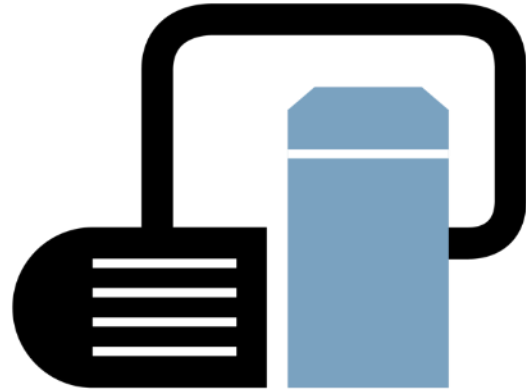
Dans un premier temps, le détenteur soumet un rapport succinct dans lequel il est précisé si des dommages graves sont possibles ou non (description au chapitre 4). Dans la négative, la procédure de contrôle et d'évaluation est clôturée. Si la situation change de façon notable ou que de nouveaux faits pertinents apparaissent (art. 8a OPAM), le détenteur est tenu de compléter le rapport succinct et de le soumettre à nouveau à l'autorité d'exécution. S'il y a un risque de dommages graves, la deuxième étape consistera à établir une étude de risque et, au besoin, à prendre des mesures de sécurité supplémentaires selon l'art. 8 OPAM.

[Retour à la table des matières](#)

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



1. Types d'installations



Les installations frigorifiques et les pompes à chaleur ne se distinguent pas seulement par leur type de construction (circuits de fluide frigorigène, de frigoporteur et de caloporteur), mais aussi par leur application. Ce chapitre présente les types de circuits de base et leurs domaines d'application.

1.1 Types de construction

Les principaux types de circuits sont décrits dans les instructions de l'OFEV « Installations contenant des fluides frigorigènes stables dans l'air » et « Installations contenant des fluides frigorigènes : du concept à la mise sur le marché » (voir [Lit. 3] et [Lit. 4]). Les types de circuits pour les installations frigorifiques à l'ammoniac et les pompes à chaleur sont reproduits ci-dessous.



Légende

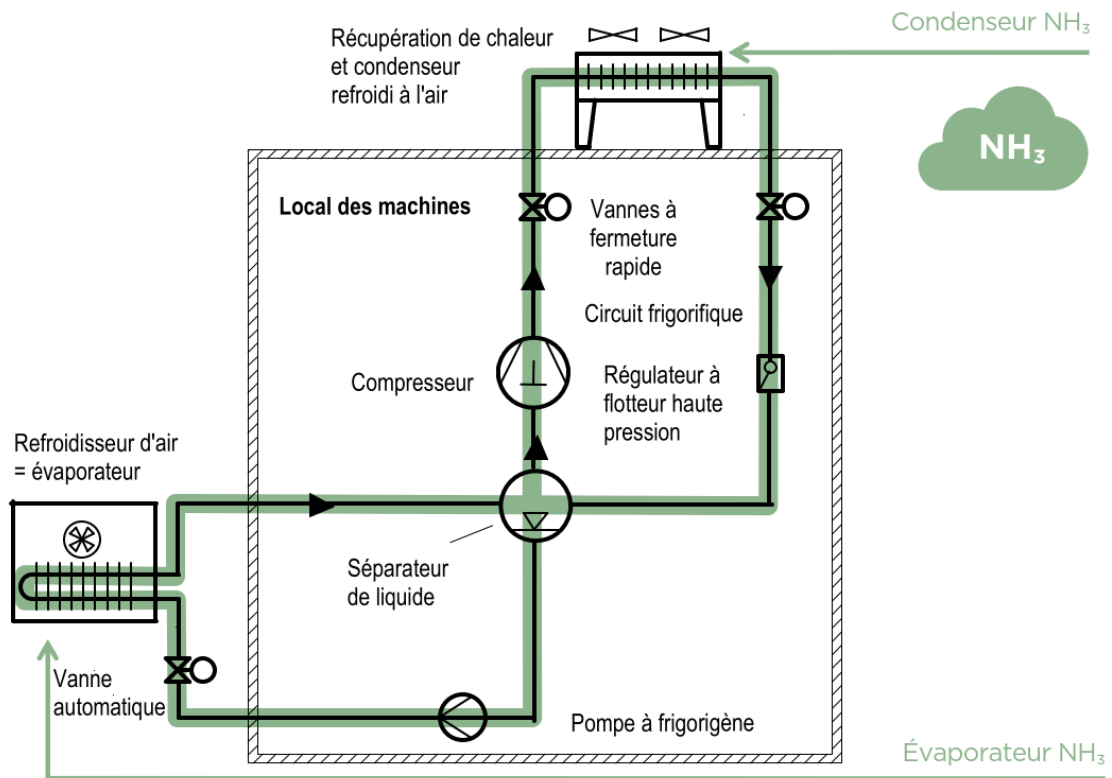
- Circuit frigorifique
(ammoniac) avec production
de froid
- Circuit frigorifique (CO₂)
avec production de froid
- Circuit frigorifique
(p. ex. éthylène glycol / eau / CO₂)
- Circuit caloporteur
(p. ex. éthylène glycol / eau)

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

Type 1

Condensation directe

Évaporation directe



[Retour à la table des matières](#)

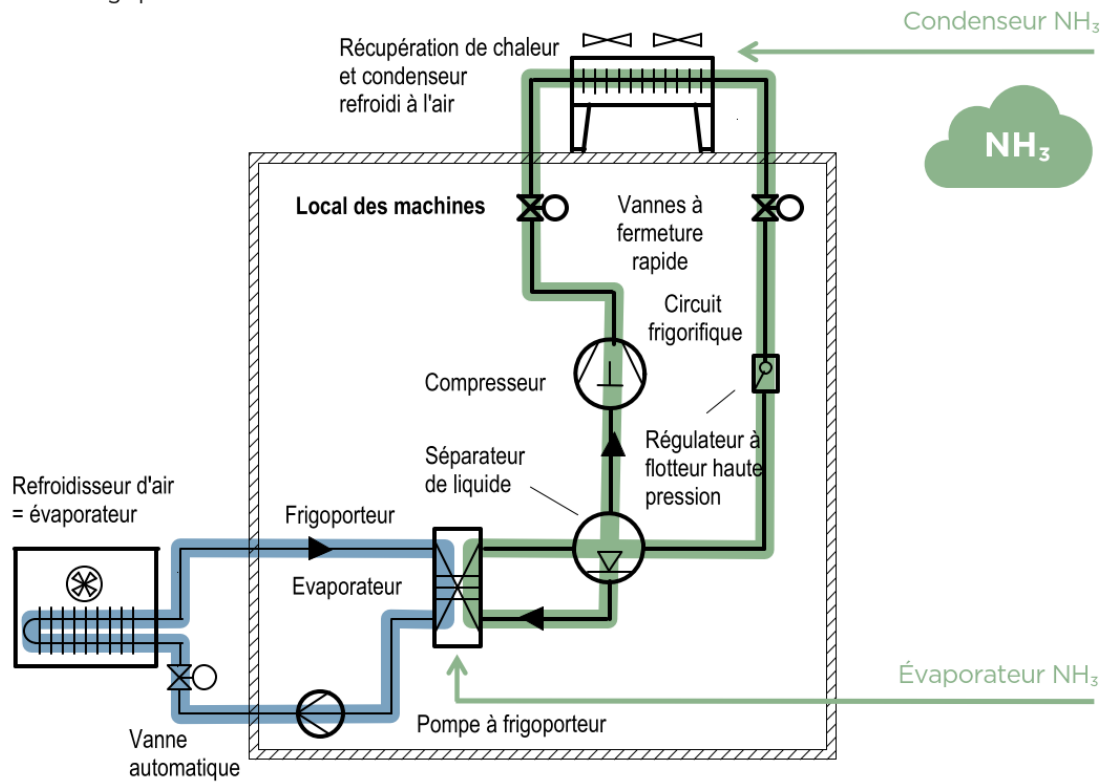


Figure 4 : Transfert du froid par un circuit frigoporteur secondaire. Le refroidissement du circuit d'ammoniac se fait directement avec de l'air respectivement de l'eau. (Type 2)

Type 2

Condensation directe

Fluide frigoporteur



[Retour à la table des matières](#)



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

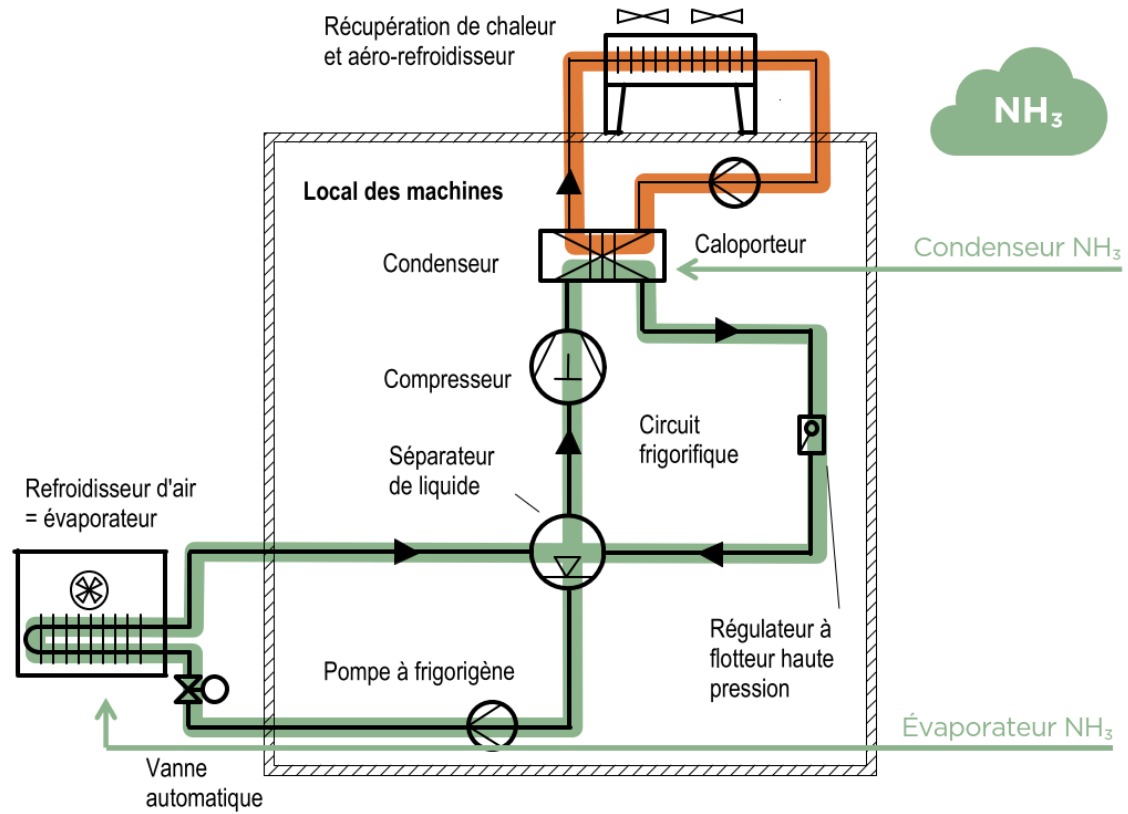




Figure 6 : Seule la machine frigorifique à proprement parler est remplie avec de l'ammoniac. Le transfert du froid et de la chaleur se fait par le biais d'un circuit secondaire. (Type 4)

Type 4
Caloporteur
Frigoporteur

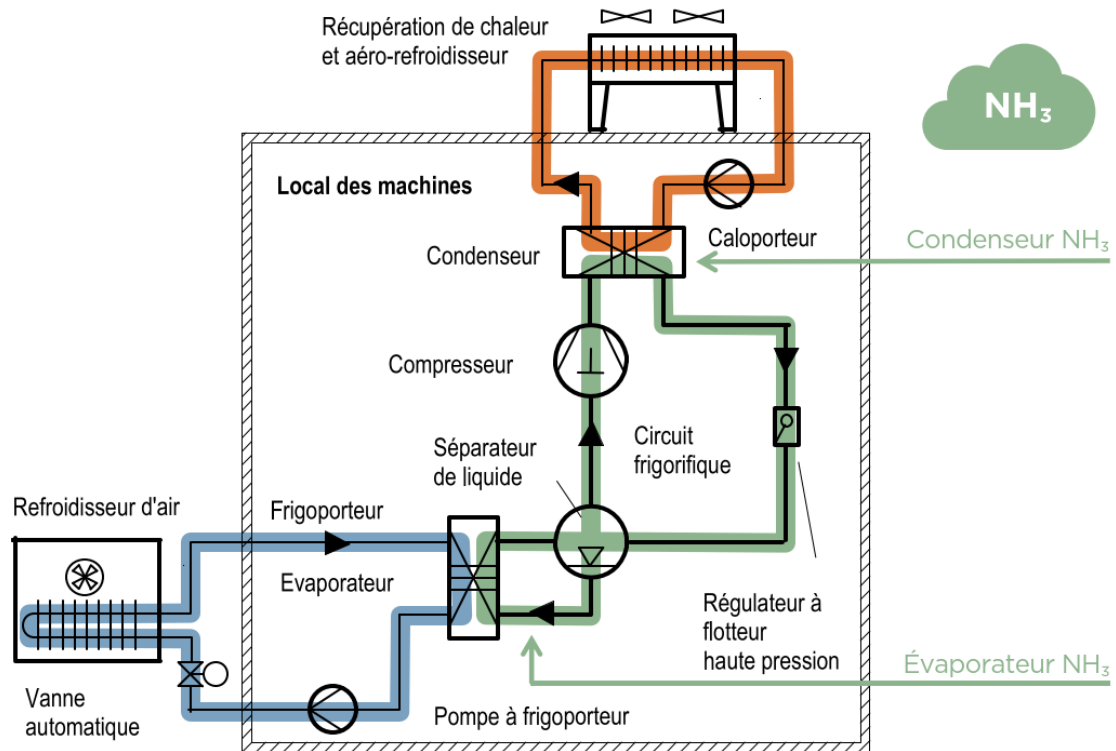


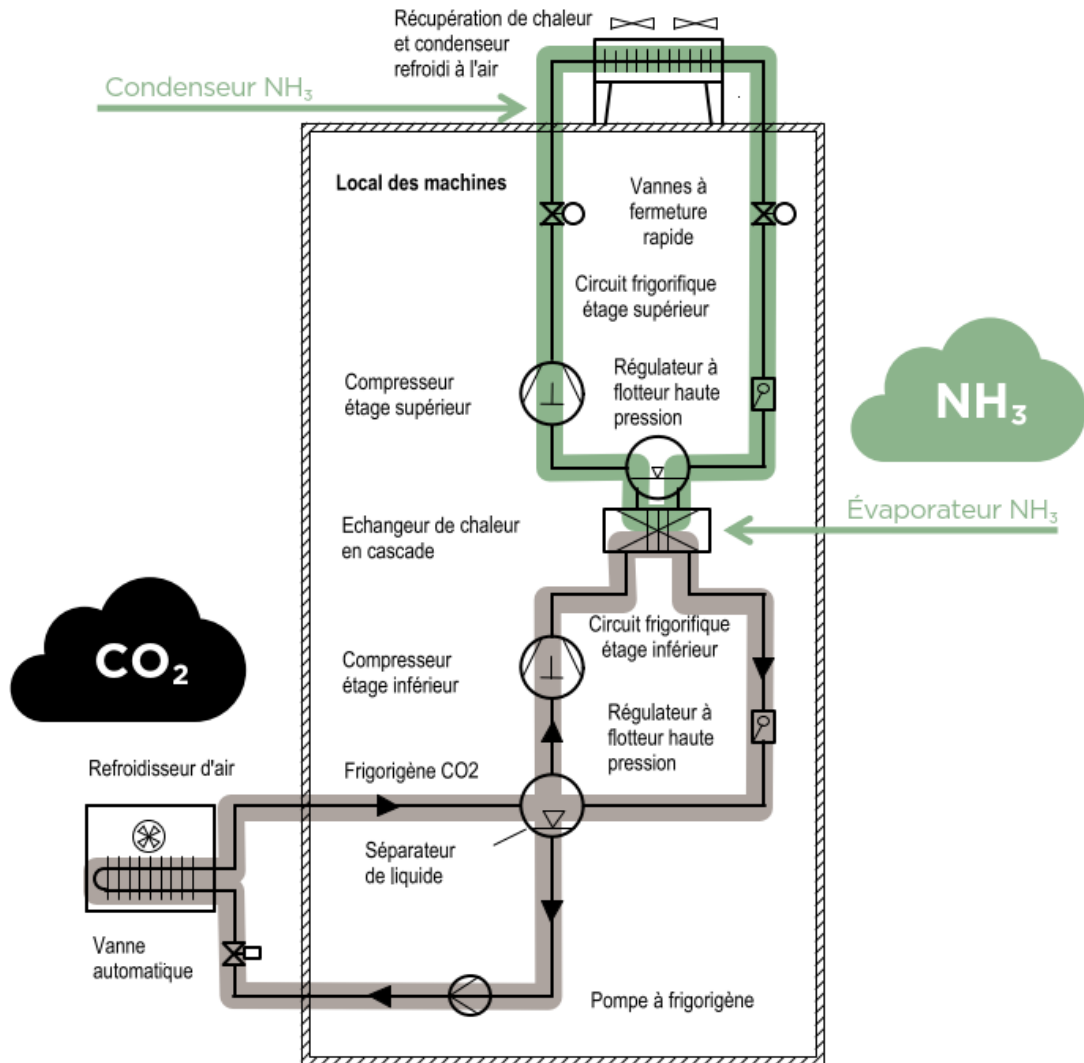


Figure 7 : L'étage inférieur de l'installation utilise le CO₂ comme fluide frigorigène vaporisé. La chaleur produite à cet étage est évacuée à l'aide d'une installation à l'ammoniac. (Type 5)

Type 5

Condensation directe

Condensation directe CO₂



[Retour à la table des matières](#)

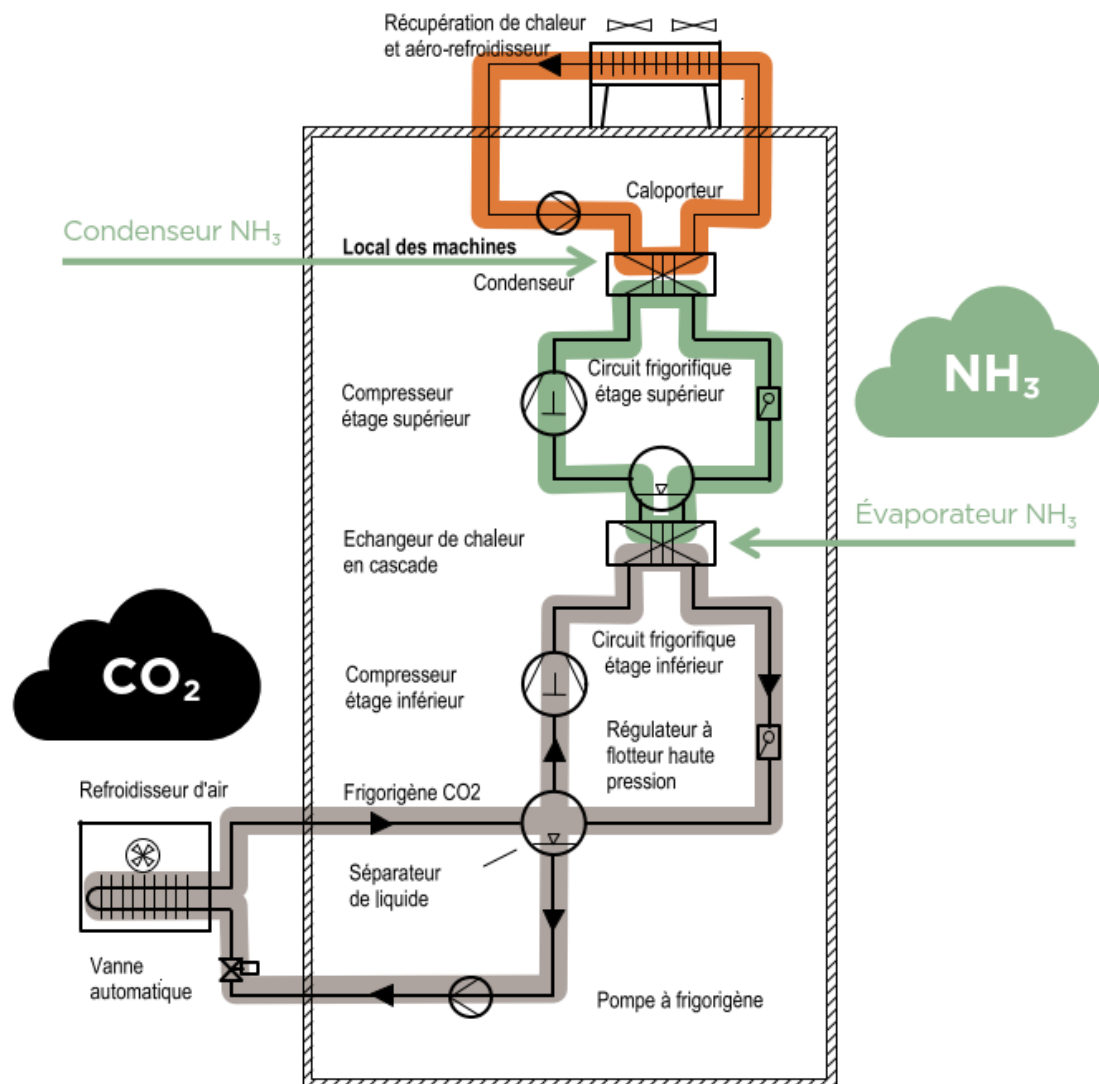


Figure 8 : L'étage inférieur de l'installation utilise le CO₂ comme fluide frigorigène vaporisé. La chaleur produite à cet étage est évacuée à l'aide d'une installation à l'ammoniac. Le transfert de la chaleur se fait à nouveau par le biais d'un circuit caloporteur secondaire. (Type 6)

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 disponible, voir les graphiques de 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. Les domaines d'utilisation les plus courants sont brièvement décrits ci-après.

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. Les installations typiques de ce groupe sont par exemple les magasins d'alimentation, 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 (< 1 t). 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. On distingue le froid industriel I (industrie alimentaire) et le froid industriel II (industrie chimique et autres industries). 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 abattoirs, les grandes boucheries industrielles, les centres de distribution de denrées alimentaires, le commerce intermédiaire ou les entreprises chimiques. 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 x 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 commerciales ou industrielles

Pour la prévention des accidents majeurs, seules les pompes à chaleur de grande taille utilisées dans le commerce et l'industrie sont pertinentes². La puissance thermique des pompes à chaleur à l'ammoniac de cette catégorie commence à environ 1 000 kW et n'a pas de limite vers le haut. Des installations d'une puissance de 10 MW et plus ont déjà été construites en Suisse. Pour une installation de 1 000 kW, le volume de remplissage se situe aux alentours de 500 kg. Ce volume peut varier en fonction du type d'échangeur de chaleur et de son écart de température. Les pompes à chaleur présentent généralement des circuits de type 4. En comparaison des installations frigorifiques classiques, les pompes à chaleur travaillent avec une pression supérieure, qui se situe généralement entre 40 et 70 bars.

Les critères d'assujettissement du chapitre 2 s'appliquent également aux pompes à chaleur. Les dommages graves peuvent en règle générale être exclus pour les pompes à chaleur utilisant moins de 500 kg d'ammoniac et qui correspondent à l'état de la technique.

² Par « pompes à chaleur commerciales ou industrielles », on entend les grandes installations utilisées dans les entreprises. Une entreprise au sens de l'art. 2, al. 1, OPAM est une installation commerciale qui produit des biens ou fournit des prestations. Elle sert à des fins commerciales, industrielles ou analogues et elle est organisée d'une certaine manière. La communauté de chauffage d'un immeuble d'habitation qui exploite une pompe à chaleur n'est pas une entreprise au sens de l'OPAM et ne peut donc pas être soumise à l'ordonnance. Par contre, une entité commerciale qui exploite professionnellement une grande centrale énergétique pour un lotissement correspond à la définition ci-dessus et peut être soumise aux dispositions de l'OPAM, si l'autorité d'exécution peut prouver que l'installation peut engendrer des dommages graves en cas d'événement extraordinaire.

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 $>2\,000$ kg sont soumis 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. L'art. 1, al. 3, OPAM stipule que des entreprises utilisant moins de $2\,000$ 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. Ce chapitre décrit une procédure avec des critères pratiques qui doivent servir de base de décision aux autorités d'exécution. Il permet de déterminer s'il est opportun d'assujettir les entreprises disposant d'installations frigorifiques et de pompes à chaleur à usage industriel ou artisanal, même si la quantité d'ammoniac contenue ne dépasse pas le seuil quantitatif. 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 personnes³).

³ 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).



En vertu de l'art. 1, al. 3, let. a, OPAM, les entreprises utilisant jusqu'à 2 000 t d'ammoniac peuvent être soumises à l'OPAM, si, en raison du danger potentiel qu'elles présentent, elles pourraient porter gravement atteinte à la population ou à l'environnement. Le présent chapitre décrit une démarche fondée sur des critères adaptés à la pratique et qui se veut une base de décision pour les autorités d'exécution. Il est ainsi possible de déterminer s'il est nécessaire de soumettre des entreprises exploitant des installations frigorifiques ou des pompes à chaleur commerciales ou industrielles, même si la quantité d'ammoniac est inférieure au seuil quantitatif.

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

Afin d'harmoniser l'exécution cantonale concernant l'assujettissement des installations frigorifiques à l'ammoniac en dessous du seuil quantitatif, nous proposons ci-après une procédure avec des critères simples pour évaluer la question de l'assujettissement.

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 décollant dépendent de la quantité d'ammoniac présente ainsi que de la partie de l'installation touchée et 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. Le nombre de personnes à prendre en compte est décrit en détail au chapitre 4.6.2.

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

Si le nombre de personnes à l'intérieur de la zone à risque est supérieur à la valeur seuil de 25 ou de 100 personnes, des atteintes graves sont possibles dans des conditions réalistes (procédure voir chapitre 2.2.5). 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 entreprise utilisant une installation frigorifique ou une pompe à chaleur utilisant de l'ammoniac, les données suivantes sont requises⁴ :

- Quantité totale d'ammoniac dans l'installation

La plus grande quantité cumulée est déterminante pour l'évaluation ; des circuits

⁴ Si une entreprise dispose de plusieurs installations frigorifiques distinctes, celles-ci doivent être considérées séparément (évtl 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.

[Retour à la table des matières](#)



de fluides frigorigènes ou des installations frigorifiques séparés sont considérés séparément.

- Mode de construction ou type d'installation (cf. chapitre 1.1).



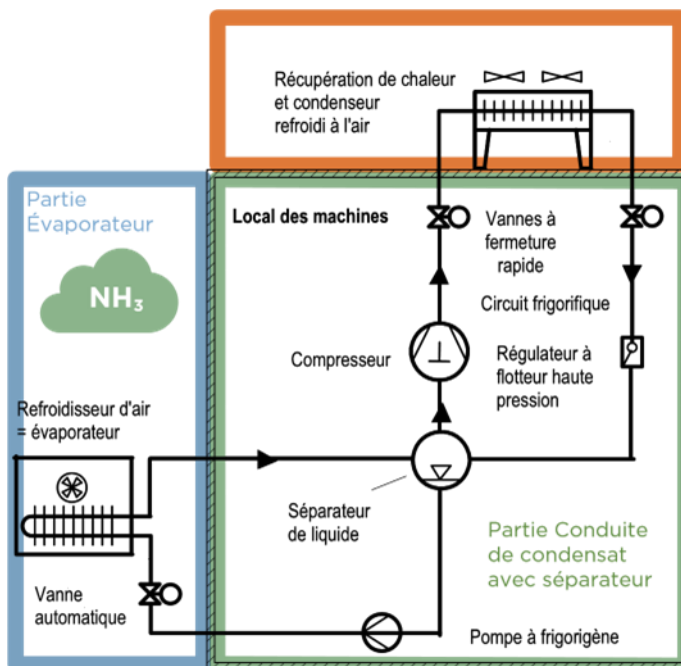
- Emplacement sur l'aire d'entreprise de l'évaporateur, de la conduite de condensat avec séparateur et condenseur (voir Figure 9). Il faut connaître l'endroit, mais il faut également savoir si un élément de l'installation se trouve à l'extérieur, dans un local ayant une paroi donnant sur l'extérieur ou dans un local sans paroi extérieure (voir chapitre 2.2.3 et Figure 10). Durant le processus de planification d'une installation, il est possible que l'emplacement prévu change. Dans ce cas, il convient d'étudier si et comment les différents emplacements envisagés pour les composants de l'installation influent sur l'ampleur des dommages.
- Emplacement de l'orifice de ventilation, par lequel de l'ammoniac provenant de la salle des machines pourrait parvenir à l'extérieur.
- Nombre des habitants et des places de travail (sans compter 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 entièrement séparés ou les installations autonomes sont considérés séparément. Pour chaque circuit d'ammoniac fermé, on distingue trois parties de l'installation d'où pourraient 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.





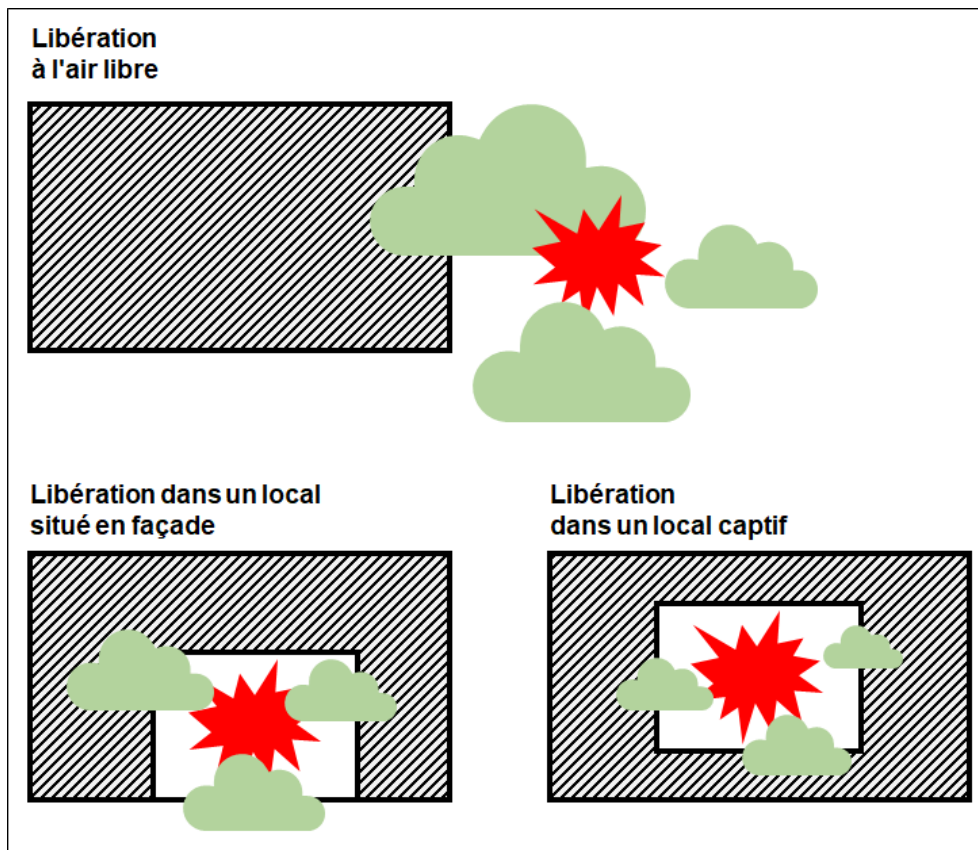
Il n'est permis de limiter la quantité émise dans l'environnement à un seul compartiment que si les parties de l'installation concernées peuvent être isolées les unes des autres par des soupapes à fermeture rapide. Si aucun dispositif similaire n'est prévu ou installé, il faut escompter l'émission de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

- À l'air libre ;
- Dans 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 ; les gaines de ventilation ne sont pas considérées comme des ouvertures).

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.





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. Le rejet déterminant est celui qui entraîne la plus grande ampleur de dommages. Selon la répartition du nombre de personnes dans les environs de l'installation, il ne s'agit pas nécessairement du rejet avec la plus grande quantité d'ammoniac parvenant à l'air libre.

Part d'ammoniac émise

Selon le mode de construction, les installations frigorifiques et les pompes à chaleur 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 émise.⁵ 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.
- 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.

⁵ Au niveau du rapport succinct, les mesures de sécurité actives, par exemple les soupapes à fermeture rapide, ne doivent pas être prises en compte dans la détermination de l'ampleur maximale des dommages. Lors de l'examen 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 règle a pour but de ne pas soumettre inutilement des installations à l'OPAM. Le modèle 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.

[Retour à la table des matières](#)

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.

Répartition relative de l'ammoniac	K _S Séparateur et Conduite de condensat	K _C Condenseur	K _E Évaporateur
<i>Type d'installation</i>			
Type 1 : Évaporation directe Condensation directe	0.2	0.4	0.4
Type 2 : Frigoporteur Condensation directe	0.15	0.6	0.25
Type 3 : Évaporation directe Caloporteur	0.2	0.2	0.6
Type 4 : Frigoporteur Caloporteur	0.1	0.3	0.6
Type 5 : Condensation directe Évaporation directe CO ₂	0.15	0.6	0.25
Type 6 : Caloporteur Évaporation directe CO ₂	0.1	0.3	0.6
Type 7 : Installation à frigoporteur refroidie à l'air, installée entièrement en plein,		1.0⁶	

Source : Estimation par les experts

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 à l'air libre (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).

⁶ 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.



- 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, sous forme de nuage n'est donc a priori pas plus élevée lors d'un dégagement spontané que lors d'un dégagement continu. Selon les informations contenues dans Lit. [6], la part d'ammoniac restant dans la flaque est plus grande lors d'une libération spontanée que lors d'un dégagement continu.
- Si les émissions ont lieu à l'intérieur du bâtiment, l'enveloppe de celui-ci retarde la propagation des gaz vers l'extérieur.
- Les libérations spontanées sont nettement moins fréquentes que les libérations continues.
- Si l'on suppose qu'un dégagement spontané ne se produit que dans la salle des machines, en raison de la répartition de l'ammoniac dans l'installation, la propagation de la salle des machines à l'air libre est retardée de telle sorte que la propagation à l'air libre serait à nouveau continue.

Pour les effets en dehors de l'aire de l'entreprise, c'est la part de l'ammoniac émis arrivant à l'air libre 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 sur lesquels les gouttelettes de l'aérosol peuvent se déposer. Il est proposé d'utiliser les valeurs figurant dans le Tableau 2 afin de déterminer la part d'ammoniac rejetée à l'air libre. Les facteurs de correction indiqués reposent sur les données de [Lit. 6]. Pour le facteur de correction K_{Lieu} , le F en indice signifie « installation frigorifique » et PAC « pompe à chaleur ». Pour les installations combinées, c'est le facteur le plus prudent qui sera utilisé.

Tableau 2 : Facteurs de correction relatifs à la part d'ammoniac parvenant à l'air libre (sous forme de gaz et d'aérosol), en fonction du lieu d'émission.

Facteurs de correction	Facteurs de correction K_{Lieu}	
	Installation frigorifique $K_{Lieu,F}$	Pompe à chaleur $K_{Lieu,PAC}$
<i>Lieu d'émission</i>		
Libération à l'air libre	1.0	1.0
Libération dans un local ayant une paroi extérieure (avec des ouvertures donnant sur l'extérieur)	0.6	1.0
Libération dans un local intérieur (sans ouvertures donnant sur l'extérieur)	0.2	0.4



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

De manière prudente, 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 d'influence susmentionnés.

Formule du taux de libération

Taux de libération de l'évaporateur	
$\dot{m}_V = m_{NH_3} \times K_E \times K_{Lieu} \div 300s$	[kg/s]
Taux de libération du séparateur	
$\dot{m}_A = m_{NH_3} \times K_S \times K_{Lieu} \div 300s$	[kg/s]
Taux de libération du condenseur	
$\dot{m}_K = m_{NH_3} \times K_C \times K_{Lieu} \div 300s$	[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 libération
(installation frigorifique ou pompe à chaleur)

m_{NH_3} = kilogrammes d'ammoniac dans l'installation

Pour déterminer le taux de libération déterminant \dot{m}_{max} la plus grande valeur obtenue est arrondie à un nombre entier.⁷ Lorsque le taux de libération est inférieur à 0,5 kg/s, on applique d'une manière générale un taux de 0,5 kg/s, à moins que de graves dommages puissent être exclus de manière plausible. Pour les installations sans soupapes à fermeture rapide, on n'utilisera pas le facteur de correction pour la répartition relative de l'ammoniac (à savoir $K_A = K_V = K_K = 1$).

⁷ Remarque : dans le cas d'installations très étendues, 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.



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

Détermination des zones à risque

L'expansion spatiale du nuage toxique ainsi que la zone à risque correspondante peuvent être calculées à l'aide de modèles physiques. Pour faciliter l'appréciation, ces zones à risque sont ramenées à une surface rectangulaire équivalant à une létalité moyenne de 28 % (voir Figure 11).

Figure 11 : Zone à risque schématique d'un nuage d'ammoniac présentant une létalité moyenne de 28 % (valable pour des taux de libération de 1 à 6 kg/s).



La zone à risque pour différents taux de libération \dot{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. 24] ; Létalité ≥ 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 du nombre effectif de personnes pouvant être affectées

Le nombre effectif de personnes est ensuite évalué pour la zone de danger rectangulaire déterminée. Pour ce faire, il est recommandé de partir des conditions générales suivantes :

- Prise en compte de la direction du vent la plus critique, en partant du nombre maximum de personnes pouvant être affectées (approche prudente).



- 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 valeurs, à savoir les habitants et les travailleurs. On part de l'hypothèse prudente que toutes les personnes sont présentes simultanément.
- On admet d'une manière générale que 10 à 30 %⁹ des habitants et des travailleurs se trouvent à l'extérieur des bâtiments. La plausibilité de l'affluence de personnes à l'extérieur dans la zone de danger ainsi déduite doit être vérifiée dans chaque cas en fonction de la situation¹⁰.
- La situation concrète doit être examinée pour déterminer s'il y a, outre la population résidente et professionnelle, d'autres utilisations régulières dans la zone à risque (centres commerciaux, écoles).
- Les rassemblements de personnes qui se déroulent rarement et/ou de façon irrégulière à proximité de l'installation constituent des situations particulières. Il s'agit par exemple de manifestations sportives, de fêtes, de marchés (de Noël) ou de concerts (en plein air).

Il est recommandé de s'appuyer sur le graphique de la Figure 12 pour décider de la nécessité de tenir compte d'une situation particulière dans la détermination de l'ampleur des dommages lors de l'appréciation en vue de soumettre une installation. Ce graphique doit être lu comme suit :

Ordonnée : durée totale de la situation par année

En général, la fréquence moyenne par année de la situation particulière est connue, tout comme la durée de l'événement (p. ex. le concours hippique a lieu 5 fois par an, en été, le samedi, et dure 8 heures ; la fête foraine a lieu une fois par an pendant 5 jours, durée d'ouverture par jour, 14 heures). Pour la durée par jour, il faut prendre les heures d'ouverture officielles ou l'intervalle pendant lequel la majeure partie des visiteurs se trouvent sur les lieux (p. ex. festival en plein air : beaucoup de visiteurs arrivent déjà 6 heures avant l'ouverture officielle). La somme correspond à la durée totale par an (p. ex. pour le concours hippique : $5 \times 8 \text{ h/an} = 40 \text{ h/an}$).

Abscisse : nombre de personnes dans la zone à risque

Pour la situation particulière concernée, on tient compte du nombre effectif de personnes qui se trouvent dans la zone à risque selon la Figure 11 ou le Tableau 3. Pour ce faire, le nombre moyen de visiteurs attendus est estimé ainsi que la proportion qui se tiendra dans la zone à risque. Il faut noter que le ratio de surface n'est pas forcément proportionnel au nombre de personnes ; lors d'une fête foraine par exemple, il est possible que plus de la moitié des visiteurs soit attendue dans la zone à risque, si les stands les plus attrayants s'y trouveront, même si la zone à risque ne couvre que 30 % du périmètre de l'événement.

⁸ Par ex. les données cadastrales de l'Office fédéral de la statistique (actualisées chaque année à la fin de l'année pour la population résidente, selon le dernier recensement des entreprises pour les emplois, actuellement 2020/21).

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.

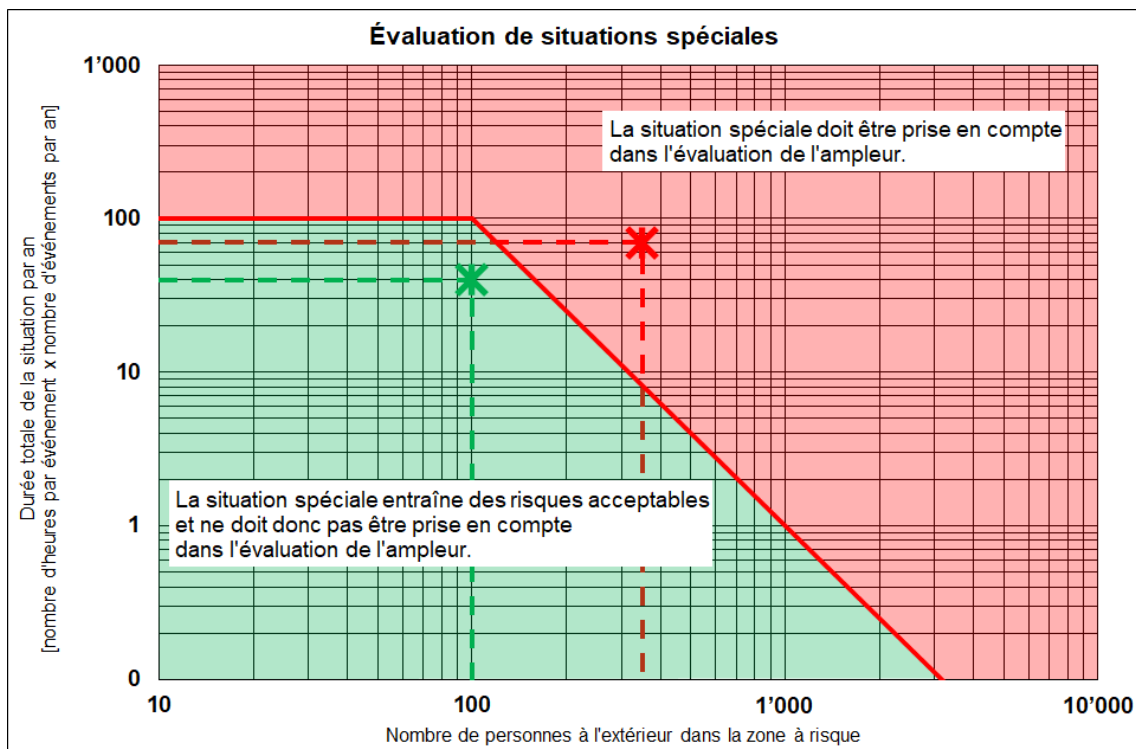
¹⁰ Les critères utilisés pour décider de la nécessité de soumettre une installation ont été vérifiés en les appliquant à différentes installations réelles. Cette vérification a montré que la simplification choisie permet d'obtenir des résultats plausibles.



Les valeurs de l'abscisse et de l'ordonnée permettent de déterminer le point correspondant dans la Figure 12. Si ce point se trouve dans la zone verte, la situation particulière ne doit pas être prise en compte dans l'appréciation en vue de soumettre une installation. S'il se trouve dans la zone rouge par contre, ou à la limite des deux, la situation devra être considérée, car la probabilité d'un accident majeur causant de graves dommages n'est pas suffisamment faible.

La Figure 12 comprend deux exemples de situations particulières. Pour les données de base et la dérivation du graphique, voir l'annexe A6 (la Figure 12 y est reproduite en plus grand afin d'en faciliter la lecture).

Figure 12 : Graphique pour décider si une situation particulière doit être prise en compte dans la zone à risque d'une installation frigorifique utilisant de l'ammoniac ou d'une pompe à chaleur. (Graphique plus grand dans l'annexe A6)
Exemple en vert : concours hippique d'une durée totale de 40 h par an, avec environ 100 personnes dans la zone à risque. **Rouge :** fête foraine d'une durée totale de 70 h par an, avec environ 350 personnes dans la zone à risque.



- 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 doivent être comptabilisées (voir aussi Figure 12).

¹¹ Une voiture ou un train qui roule ne se trouve généralement que quelques secondes dans le nuage toxique. 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.



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 OPAM, il faut examiner si un dégagement 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. L'annexe A3 contient des explications sur la dérivation de la valeur limite et des conditions cadres.

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
5		130	60
4		120	50
3		100	50
2		75	35
1		48	25
0		45	10
			100 personnes à l'air libre

Si la valeur limite est dépassée, il n'est pas possible d'exclure des atteintes graves sans examens supplémentaires. Un assujettissement à l'OPAM devrait avoir lieu si la combinaison la plus critique entre la partie de l'installation et le lieu de la dissémination présente les caractéristiques suivantes :

N° effectif de personnes concernées $P_{eff} >$ valeur limite pour le N° de personne P_{Ref}

2.2.6 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 régulièrement ce local est de dix ou davantage (p. ex. 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 de dix ou davantage.

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.

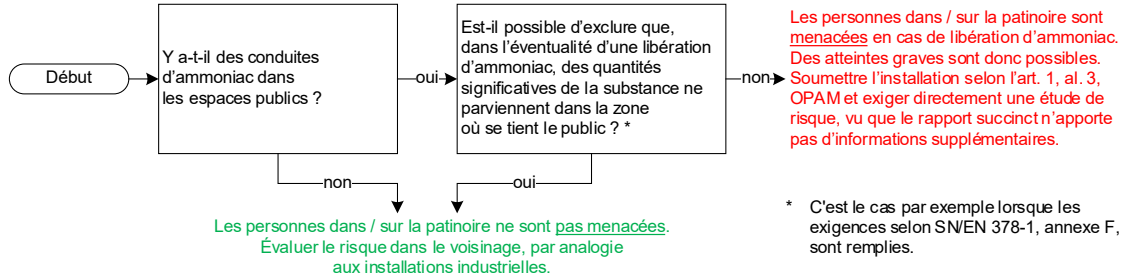
2.2.7 Patinoires

Pour les patinoires, il convient d'une manière générale d'appliquer les principes énoncés au chapitre 2.2. Le nombre de tiers qui ne sont pas des employés 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 eux. À cet effet, il convient d'évaluer les différentes parties de l'installation, en utilisant les aides à la décision fournies dans la Figure 13. 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.

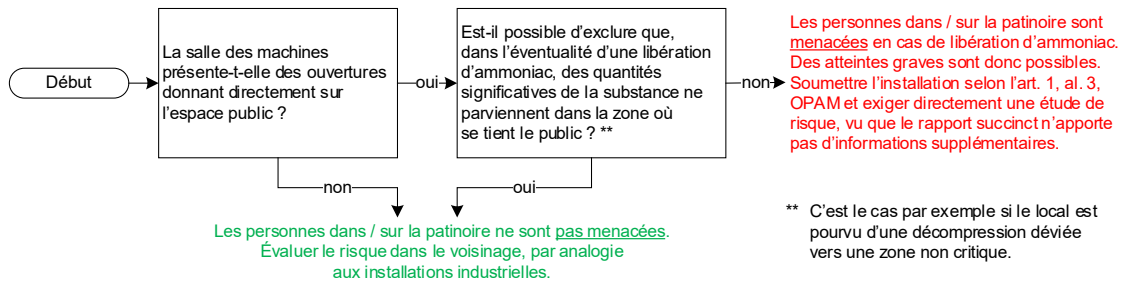


Figure 13 : Libération d'ammoniac dans les patinoires : aide à la décision pour apprécier la mise en danger de personnes

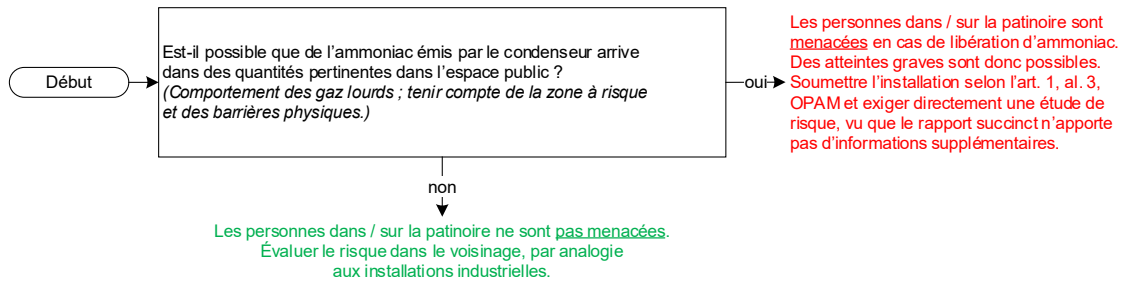
Partie Évaporateur



Partie Conduite de condensat avec séparateur



Partie Condenseur



3. Règles de la technique / État de la technique de sécurité



3.1 Introduction

Les règles reconnues de la technique doivent être appliquées dans les installations frigorifiques. Ces règles englobent les connaissances éprouvées qui sont appliquées d'une manière générale, et qui ont été arrêtées dans des réglementations, des normes et des manuels, voir [Lit. 7]. Les installations soumises à l'OPAM doivent en outre respecter les mesures de sécurité selon l'art. 3 OPAM. Les règles de la technique et l'état de la technique de sécurité évoluent en permanence. Il est dès lors souvent difficile de savoir quels documents reflètent l'état actuel. C'est pourquoi le chapitre suivant résume 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 liés aux installations frigorifiques et aux pompes à chaleur. Ce 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 (voir [Lit. 8], [Lit. 9], [Lit. 10], [Lit. 11])). En Suisse, la directive CFST no 6507 vient compléter les règles de la technique, voir [Lit. 12].

L'OFEV définit l'état de la technique de sécurité, selon [Lit. 7], comme suit : L'état de la technique de sécurité va dans la plupart des cas plus loin que les règles reconnues de la technique. Il englobe en outre l'ensemble des connaissances techniques qui existent dans les milieux spécialisés et qui sont accessibles à tous, y compris celles qui sont utilisées avec succès dans des conditions similaires en Suisse ou à l'étranger et qui peuvent être transposées à d'autres installations. Les informations concernant l'état de la technique de sécurité sont généralement disponibles dans la littérature spécialisée ou auprès des associations professionnelles ou de branche.



En Allemagne, la directive TRAS 110 s'applique aux installations contenant globalement plus de 3 000 kg d'ammoniac¹² (voir [Lit. 13]). 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 organisationnelles. 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 d'autres termes, une installation est considérée comme suffisamment sûre 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 prônées dans la TRAS 110 ne sont pas transposables telles quelles à la Suisse. Il est dès lors recommandé 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 clarté, la sélection est sciemment limitée aux aspects essentiels et les plus courants dans la pratique.

La règle générale est en l'occurrence :

- Les règles de la technique doivent être appliquées aussi bien dans les installations nouvelles que dans les installations existantes.
- Dans les installations nouvelles, il convient en outre de mettre en œuvre toutes les mesures correspondant à l'état de la technique de sécurité selon le chapitre 3.2.2. Les mesures énumérées sont considérées comme étant économiquement supportables.
- Dans le cas des installations existantes, le détenteur décide, sous sa propre responsabilité, lesquelles des mesures correspondant à l'état de la technique de sécurité sont économiquement supportables.

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

Mesures générales

- Le détenteur ou son représentant dûment habilité doit planifier et mettre en œuvre régulièrement les mesures générales de maintenance de l'installation. Les exigences selon [Lit. 11], chapitre 5.2.2, sont les suivantes : « L'ampleur et le calendrier de maintenance doivent être décrits en détail dans le manuel d'utilisation ».
- La chaîne de sécurité doit être testée selon les prescriptions du responsable de la mise sur le marché ou de l'exploitant. Il convient de vérifier le bon fonctionnement et l'interaction entre tous les systèmes de détecteurs, d'actionneurs et d'alarme pertinents pour la sécurité en cas d'accident majeur.
- 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 de gaz. Les résultats de ces contrôles sont à

¹² Au sein de la directive, il est recommandé de l'appliquer dès les installations à partir de 300 kg d'ammoniac, si celles-ci sont exploitées à proximité d'objets protégés selon les TRAS 110.



consigner dans le procès-verbal relatif à l'installation (SN EN 378-3, [Lit. 10], chapitre 10.4).

- Les prescriptions de [Lit. 10], chapitre 9.2, concernant l'installation de détecteurs de gaz sont les suivantes :
Un détecteur au moins doit être monté dans chaque salle des machines ou dans chaque espace où pourraient se tenir des personnes et/ou à l'étage le plus bas pour les fluides frigorigènes qui sont plus lourds que l'air ou à l'endroit le plus élevé pour les fluides frigorigènes plus légers que l'air.
Pour les valeurs d'alarme, voir le chapitre 3.2.2.
- Les issues de secours dans la salle des machines doivent pouvoir s'ouvrir vers l'extérieur (voir [Lit. 12], chapitre 4.2).
- Des compartiments coupe-feu doivent être réalisés selon le concept de protection incendie. La salle des machines doit présenter une résistance au feu de EI 60 au moins et les portes de EI 30-CS¹³.
- 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 (dispositif d'arrêt d'urgence commandé à distance). Un interrupteur ayant une fonction analogue doit être placé à un endroit approprié à l'intérieur de la pièce également ([Lit. 10], chapitre 5.6).
- Les installations frigorifiques doivent être équipées d'une fonction d'arrêt d'urgence (SN EN ISO 13850 : 2016 « Sécurité des machines – Fonction d'arrêt d'urgence – Principes de conception ») qui actionne les entraînements et les organes de commande correspondants.
- Pour les condenseurs hybrides et par évaporation, l'eau de refroidissement doit être surveillée à l'aide d'une mesure du pH ou par sélection d'ions afin de détecter rapidement d'éventuelles fuites d'ammoniac :
« Des détecteurs R-717 doivent être placés dans les systèmes de circuit caloporteur indirects (p. ex. eau ou glycol) lorsque la quantité de remplissage R-717 dépasse 500 kg [...]. Ces détecteurs doivent déclencher une alarme dans la salle des machines et, si possible, à l'interface opérateur du système de commande [...]. » ([Lit. 10], chapitre 9.3.3)

Protection contre les explosions

Des mesures de protection contre les explosions selon ATEX 137 [Lit. 14] et le feuillet d'information « Protection contre les explosions » de la SUVA sont requises pour les éléments suivants :

- Installation de ventilation (ventilateur, clapets pour l'alimentation et l'évacuation d'air),
- Éclairage de secours
- Détecteurs de gaz et de fluide frigorigène
- Alarme optique / acoustique.

¹³ C « closing », fermeture automatique ; S – « smoke », limitation de la perméabilité à la fumée.



Ventilation

- La ventilation normale (pour les conditions d'exploitation usuelles) des salles des machines où séjournent des personnes doit assurer un renouvellement d'air au moins quatre fois par heure, ([Lit. 10], chapitre 5.13.2).
- Pour la ventilation mécanique de secours, conçue en fonction de la masse de fluide frigorigène, quinze renouvellements d'air par heure sont suffisants. La ventilation de secours doit être équipée de deux interrupteurs indépendants, dont l'un doit se situer à l'intérieur et l'autre à l'extérieur de la salle des machines. ([Lit. 10], chapitre 5.13.3). La ventilation de secours doit être opérationnelle à tout moment et être activée par des détecteurs de gaz ([Lit. 10], chapitre 6.3.3.3).
- L'évacuation d'ammoniac libéré « [...] doit être effectuée de manière à ce que le fluide frigorigène émis ne puisse mettre en danger ni des personnes ni des biens » ([Lit. 10], chapitre 5.8). Cette règle s'applique par analogie à la disposition des ouvertures d'évacuation d'air de la salle des machines. « Le fluide frigorigène ne doit pas pénétrer dans les locaux voisins, les cages d'escalier, les cours, les couloirs ou les systèmes d'évacuation des eaux du bâtiment et les gaz libérés doivent être dirigés vers l'extérieur. Un circuit d'aération pour un local où séjournent des personnes ne doit pas traverser la salle des machines, à moins que la conduite ne soit étanchéifiée, afin d'empêcher que d'éventuelles fuites de fluide frigorigène ne parviennent dans ce flux d'air. » ([Lit. 10], chapitre 5.2).
- « Les regards de maintenance, y compris les passerelles et les vides qui contiennent des conduites de fluides frigorigènes doivent être ventilés vers un endroit sûr afin d'éviter une accumulation dangereuse de fluides frigorigènes en cas de fuite. Il est interdit d'utiliser les regards de maintenance à des fins d'aération ou pour l'air climatisé. » ([Lit. 10], chapitre 5.12.4)
- 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 doivent être disposées de manière que le fluide frigorigène soit évacué dans tous les cas lors d'une fuite. ». ([Lit. 10], chapitre 5.13.5). 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 vers l'extérieur ([Lit. 12], annexe B, et chapitre 4.3.6). Il faut partir du principe que si la quantité libérée est importante, 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, de manière à ne pas mettre en danger les personnes.

Mesures de rétention

- Le sol de la salle des machines doit être conçu de manière à ce que l'ammoniac liquide ne puisse s'échapper de ce local. « L'écoulement du système de rétention doit en règle générale être fermé. » ([Lit. 10], chapitre 5.14.3.1)



- 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 F (voir [Lit. 8]) décrit une réglementation particulière pour les patinoires. Si des conduites contenant du fluide frigorigène des classes de sécurité A1, B1 ou B2L¹⁴ se situent dans la zone publique, elles peuvent néanmoins être considérées comme des systèmes indirects¹⁵ dans certaines circonstances. La condition est qu'un sol en béton armé approprié, à savoir renforcé et étanche, sépare les parties contenant du fluide frigorigène de la zone accessible au public et des zones utilisées régulièrement des tiers. Dans ce cas, les exigences suivantes doivent être satisfaites :

- Des collecteurs de fluide frigorigène doivent être prévus pour recevoir la totalité de la charge de fluide frigorigène. Les tubes et les collecteurs doivent être soudés ou brasés sans bride et scellés dans le sol. Les conduites d'alimentation et de retour doivent être posées dans un canal étanche spécialement aménagé à cet effet et qui évacue l'air vers la salle des machines afin d'éviter que du fluide frigorigène ne parvienne dans la zone accessible au public et/ou des zones utilisées régulièrement par des tiers.

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 s'appliquent à toutes les nouvelles installations soumises à l'OPAM, elles assurent une réduction du risque et sont économiquement supportables pour ces installations. Dans le cas des installations existantes, le détenteur doit apprécier 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.

Mesures générales

- Dans la mesure du possible, il convient de combiner des mesures de sécurité constructives, techniques et organisationnelles. L'interaction entre ces mesures doit être harmonisée. Les installations à évaporation directe fonctionnant à l'ammoniac (circuits des types 1 et 3 selon le chapitre 1.1) qui sont soumises à l'OPAM doivent être équipées d'un dispositif d'obturation commandé à distance (soupapes à fermeture rapide) dans la zone de phase liquide, en amont de la pompe à ammoniac. Ces dispositifs doivent être commandés par l'installation de surveillance de l'ammoniac ([Lit. 9], annexe A, section A.2).

¹⁴ L'ammoniac correspond à la classe de sécurité B2L.

¹⁵ 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.



- L'étanchéité¹⁶ de la salle des machines doit être réalisée de manière à ce que, lors du test (p. ex. essai à la fumée froide), la fumée froide ne s'échappe pas de l'enveloppe faisant l'objet du contrôle en l'absence d'une différence de pression. La vérification se fait par un contrôle visuel.
- Capteur d'ammoniac supplémentaire dans la salle des machines avec une plage de mesure allant jusqu'à 40 000 ppm (mesure 20 % de la limite inférieure d'explosivité).
- Limitation de l'évaporation et de la taille des flaques dans la salle des machines à l'aide de cuves de rétention présentant une surface aussi petite que possible.
- La directive SN EN 378 exige qu'un local jouant le rôle de station d'alarme soit occupé en permanence lorsque la quantité d'ammoniac est de 3 000 kg ou davantage. En Suisse, ces exigences doivent être satisfaites déjà à partir de 2 000 kg. « 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, radiomessagerie, etc. » ([Lit. 10], chapitre 8.4).
- Lorsqu'une installation est située à l'extérieur, il faut prévoir une cuve de rétention (volume de rétention actif ou passif) 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 à l'ammoniac seront placés le plus loin possible des endroits où se tiennent de nombreuses personnes.
- Les armoires 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 électriques de la salle des machines, il faut placer au moins les dispositifs d'arrêt d'urgence (mise hors tension) en dehors de ce local (voir chapitre 3.2.1 « Règles de la technique »).
- Du côté de la pression, les conduites d'aération doivent être réalisées dans la classe d'étanchéité ATC2 selon la directive SN EN 16798-3.
- Les dispositions suivantes ci-après doivent être prise en compte lors de la conception de l'équipement électrique et le niveau de sécurité doit satisfaire aux exigences de l'évaluation du risque selon la directive SN EN ISO 12100 : 2011

¹⁶ Étant donné que les portes pare-feu ne deviennent souvent étanches que sous l'effet de la chaleur, par la dilatation des joints, il est important de procéder à ce test supplémentaire pour les portes de la salle des machines.

[Retour à la table des matières](#)

	SIL1 / PL c	SIL2 / PL d
Arrêt d'urgence		X
Coupure d'urgence	X	
Dispositif de détection de gaz		
– Enregistrement (détecteurs de gaz)		X
– Déclenchement (PLT ¹⁷)	X	
Dispositif de commande de la ventilation		
– Déclenchement (PLT)	X	

¹⁷ PLT : système numérique de contrôle-commande



Concept de sécurité pour l'ammoniac : détection, ventilation, alarme et dispositif d'arrêt d'urgence

Il faut élaborer un concept de sécurité pour l'ammoniac ainsi qu'un plan d'intervention correspondant à appliquer en cas d'accident majeur. Ce plan définit quelles sont les mesures de limitation des dommages (p. ex. évacuation) que le détenteur doit prendre avec son personnel et lesquelles relèvent des services d'intervention publics [Lit. 10]. Le concept de sécurité pour l'ammoniac décrit les mesures constructives, techniques et organisationnelles.

Pour les installations soumises à l'OPAM, on peut ainsi recommander ce qui suit s'agissant des valeurs limites pour l'alarme¹⁸ et des mesures à prendre concernant l'alarme et la ventilation. D'autres valeurs d'alarme et mesures sont d'une manière générale admissibles, si elles sont fixées d'entente avec les autorités d'exécution.

Valeur d'alarme

- 50 ppm
- Alarme optique / acoustique
- Interne seulement (au moins organiser un piquet)

Préalarme

- 200 ppm
- Alarme optique / acoustique
- Interne seulement (au moins organiser un piquet)
- Enclencher la ventilation de secours

Alarme principale

- 1 000 ppm
- Alarme optique / acoustique
- Interne seulement (au moins organiser un piquet)
- La ventilation de secours continue de tourner (remarque : s'il y a des installations sensibles à proximité, la conception technique de la ventilation doit en tenir compte, p. ex. en assurant une addition d'air extérieur)

Installations pour le refroidissement de processus

Autres installations frigorifiques et pompes à chaleur

- L'installation continue de tourner (le concept de sécurité décrit la démarche à suivre pour l'installation de processus, p. ex. arrêt contrôlé).

- L'installation de refroidissement est arrêtée et mise hors service.
- Les soupapes à fermeture rapide sont fermées, la décharge est assurée par un limiteur de débit.

¹⁸ Les directives SN EN 378 CFST indiquent des intervalles différents pour les valeurs limites d'alarme. Si ces recommandations ne sont pas contradictoires, l'application soulève régulièrement un besoin de clarification sur les valeurs à fixer concrètement.



Alarme d'intervention

- 30 000 ppm
- Alarme optique / acoustique
- Service interne occupé en permanence (police d'entreprise/portier ou forces d'intervention externes) : alarme automatique. *Pendant les heures de travail, une temporisation de reconnaissance est admissible de la part du personnel dûment formé.*
- La ventilation est arrêtée (les ouvertures permettant le renouvellement d'air sont fermées, le clapet de ventilation reste ouvert pour la décompression)

Installations pour le refroidissement de processus	Autres installations frigorifiques et pompes à chaleur
<ul style="list-style-type: none"> — L'installation est arrêtée et éteinte de manière contrôlée (les soupapes à fermeture rapide sont fermées, la décharge est assurée par un limiteur de débit) — Le courant est interrompu dans la salle des machines 	<ul style="list-style-type: none"> — Le courant est interrompu dans la salle des machines.



Les exigences suivantes s'appliquent aux patinoires :

- Dans les systèmes à circuit unique ¹⁹ qui ne satisfont pas aux exigences de l'annexe F de la directive SN EN 378-1, les conduites contenant du fluide frigorigène qui sont situées dans la zone accessible au public 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 CO₂²⁰. L'étanchéité doit être vérifiée périodiquement.
- La directive TRAS 110 prescrit que les installations frigorifiques nouvellement planifiées ou installées doivent être dotées de salles des machines construites de manière à ne pas présenter d'ouvertures, donc pas de portes, de portails ni d'autres ouvertures donnant sur des espaces dans lesquels se tiennent des personnes non instruites (p. ex. visiteurs). Les conduites de distribution/collecte doivent être surveillées à l'aide d'un nombre suffisant de capteurs de gaz.
- Valeurs d'alarme pour le système d'alerte à l'ammoniac des canaux de distribution/collecteurs :
 - Préalarme, 200 ppm ;
 - Alarme principale, 1 000 ppm avec arrêt automatique de l'installation, c'est-à-dire qu'elle est arrêtée et éteinte (valeur inférieure à celle de la directive CFST, car des personnes se trouvent très près de l'endroit de libération potentiel).
- Il est possible de renoncer à la surveillance de l'ammoniac dans les conduites de transport si les exigences de la directive SN EN 378-1, annexe F sont respectées, voir [Lit. 8].
- La dalle en béton qui recouvre les conduites contenant de l'ammoniac sous le champ de glace doit présenter une épaisseur d'au moins 2 cm ²¹.

Si ces conditions sont remplies, les personnes se trouvant à la patinoire ou sur le champ de glace ne courent pas de risque selon la Figure 13 (chapitre 2.2.7).

3.3 Mesures de sécurité supplémentaires

Si la courbe cumulative du risque d'une installation se situe dans le domaine intermédiaire ou le domaine inacceptable du diagramme PC, il convient d'étudier et de mettre en œuvre des mesures supplémentaires pour réduire le risque. Différentes mesures sont décrites ci-après à titre d'exemples. Elles vont au-delà de la technique de sécurité, mais ont été appliquées dans quelques installations par le passé. Il faut vérifier au cas par cas si ces mesures pourraient également aider à réduire le risque dans l'installation considérée.

¹⁹ Le terme « système à circuit unique » désigne ici une installation où le champ de glace est refroidi par l'évaporation directe d'ammoniac.

²⁰ Le terme « étanche à la fumée froide » est utilisé dans le contrôle des éléments de constructions dans le cadre de 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.

²¹ Principalement pour des raisons de protection contre la corrosion.



3.3.1 Mesures de protection de la population

- La puissance de la ventilation mécanique de la salle des machines et la hauteur des orifices de décharge peuvent être définies de manière à ce que l'ammoniac soit dépressurisé ou évacué par le biais de la ventilation vers l'extérieur, sans que des concentrations critiques ne soient atteintes.
- Apport d'air extérieur dans la conduite de ventilation.
- Hauteur de la cheminée d'évacuation de la salle des machines :
 - Au moins deux mètres au-dessus du faîte du toit ;
 - Si possible sur la toiture la plus haute ;
 - Tenir compte des environs : si le terrain est en pente, s'il y a une forte densité de personnes ou des personnes sensibles à proximité, la hauteur de la cheminée doit être déterminée par des calculs de propagation (concentration maximale dans les environs < AEGL-2 / 1 h).
- La hauteur de la cheminée d'évacuation vaut également pour d'autres conduites de décharge par lesquels de l'ammoniac est évacué en cas de surpression.
- Détecteur de gaz supplémentaire à titre de soutien de l'intervention, avec une plage de mesure de 40 000 à 150 000 ppm (mesure 20 % à 100 % de la limite inférieure d'explosivité).
- 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. 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.
- Raccordement d'intervention à la salle des machines pour des mesures de décharge par les pompiers (raccordement Auer).
- 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/ou la propagation à l'extérieur, 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'en concertation avec le propriétaire et/ou de l'exploitant de l'objet sensible. Attention : la détection en plein air est techniquement difficile et doit être planifiée avec les connaissances techniques le soin nécessaires
- Avant la mise en service, toutes les soudures de conduites extérieures contenant du liquide doivent être contrôlées. Selon les 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.
- Isolation thermique de la cuve de rétention sous le séparateur.
- 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.
- Aux fins de protéger les zones situées à proximité des salles des machines et dans lesquelles se tiennent régulièrement des tiers, il est possible d'aménager des sas, qui seront équipés comme suit sur le plan technique :
 - Portes entre la salle des machines et le sas : EI 30 – CS²²;
 - Portes entre le sas et l'extérieur : EI 30 – C²³;
 - Aération (ouverture d'évacuation du sas via un puits vertical);
 - Contact à ouverture avec alarme reliée à un poste occupé en permanence;
 - Éclairage de secours.
- Patinoires : refroidissement actif du fluide si la totalité de l'ammoniac est stockée dans le séparateur et que l'installation est éteinte. Par exemple si la patinoire est fermée en été.

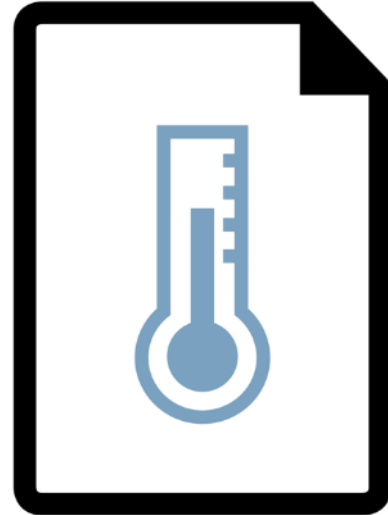
3.3.2 Mesures de protection de l'environnement

- Le refroidissement des circuits contenant de l'ammoniac avec de l'eau doit se faire uniquement par le biais d'un circuit secondaire (c.-à-d. pas de refroidissement direct avec de l'eau souterraine ou de l'eau superficielle) si le risque pour l'environnement reste trop important en dépit d'une surveillance du pH.
- La rétention de l'eau d'extinction doit être assurée :
 - Installation de vannes dans la canalisation, qui puissent être actionnées de manière sûre et sans erreur dans le cas d'une libération d'ammoniac.
 - Goudronnage des places situées autour de l'installation frigorifique afin de pouvoir retenir les eaux contaminées à l'aide de rideaux d'eau.
 - Des cuves de rétention sont aménagées en dessous des parties de l'installation contenant de l'ammoniac qui se trouvent à l'extérieur.

²² C – « closing », qui se ferme automatiquement.

²³ C – « closing », fermeture automatique ; S – « smoke », limitation de la perméabilité à la fumée.

4. Rapport succinct : estimer l'ampleur des dommages



4.1 But et portée

Le rapport succinct permet à l'autorité d'exécution d'évaluer les conséquences possibles d'accidents majeurs. Complété par une éventuelle 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 (voir [Lit. 7]).

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 » (voir [Lit. 1]). À cet effet, il convient d'étudier les scénarios les plus pessimistes et réalistes possibles (« worst case ») (voir [Lit. 7]). 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 potentiels que pourrait subir la population ou l'environnement à la suite d'accidents majeurs.

Il y a d'autres indications sur la rédaction d'un rapport succinct dans le manuel relatif à l'OPAM, voir [Lit. 7].



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) constitue l'événement déterminant à prendre en compte pour les 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 posées 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 toutefois 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. 15]. Pour l'écotoxicité de l'ammoniac, on utilise la CL50 pour les poissons de 27,1 mg/l (96 heures), voir [Lit. 13]. 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'eaux souterraines ou d'eaux superficielles, la situation doit toutefois être analysée plus en détail.



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 :

- À des concentrations situées entre 15,4 et 33,6 % (correspond de 108 à 240 g/m³ ; voir [Lit. 16]), l'ammoniac forme avec l'air un mélange explosible. Cependant, la concentration à l'air libre descend rapidement en dessous de 5 à 10 %, même si les quantités libérées sont importantes (10 à 40 t). La probabilité d'une inflammation ou d'une explosion en plein air n'est par conséquent pas significative ([Lit. 17], p. 31/32).
- En revanche, des concentrations d'ammoniac explosibles peuvent 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

Le scénario d'accident majeur pour la libération d'ammoniac dans une installation frigorifique se déroule en trois phases : libération, 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 14. Cette dernière renvoie en outre aux chapitres et figures pertinents afin de compléter l'information.

[Retour à la table des matières](#)



Figure 14 : Estimer l'ampleur des dommages au niveau du rapport succinct : aperçu de la démarche.

PHASE 1 : Libération

Déterminer les scénarios pertinents en fonction du type d'installation
selon Figure 15 à Figure 21

**Pour chaque scénario à considérer, la quantité de libération
resp. le taux de libération, en fonction du lieu de libération**
selon chapitre 4.4.2 "Quantité libérée ou taux de libération"

PHASE 2 : Propagation

**Déterminer l'étendue (longueur et largeur)
des zones à risque R_{99} , R_{50} et R_1**
selon chapitre 4.5.1 "Calcul de la propagation à l'extérieur : modèle simplifié"

resp. en se basant sur le type d'installation en question, lire les Figure 15 à Figure 21 correspondantes, à l'aide desquelles les distances de danger peuvent être déterminées dans l'annexe A5 pour les quantités / taux de rejets déterminants.

PHASE 3 : Ampleur des dommages

**Déterminer le nombre maximal de personnes à l'extérieur
dans les trois zones à risque R_{99} , R_{50} et R_1**
(dans une direction de vent critique, à un moment critique de la journée)
selon chapitre 4.6.2 "Nombre de personnes présentes"

Calculer l'ampleur maximale des dommages
Annexe du nombre maximal de personnes et
les valeurs moyennes de létalité au sein de R_{99} , R_{50} et R_1
selon chapitre 4.6.3 "Détermination de l'ampleur des dommages"



Phase 1 : libération

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 à l'extérieur par le biais du système de ventilation ou d'éventuelles ouvertures (p. ex. portes, fenêtres). Dans le cadre du rapport succinct, il s'agit d'étudier différents scénarios afin de déterminer la combinaison la plus défavorable 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'air libre 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 de ventilation ou la cheminée d'évacuation. 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 de libération et propagation du nuage toxique

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 de libération ci-après (par installation), et d'en dériver le « cas le plus pessimiste » (« worst case ») :

- Libération continue à l'évaporateur ;
- Libération continue au niveau du séparateur ;
- Libération continue au niveau du 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 Figure 15 à Figure 21 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 de libération 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.

[Retour à la table des matières](#)

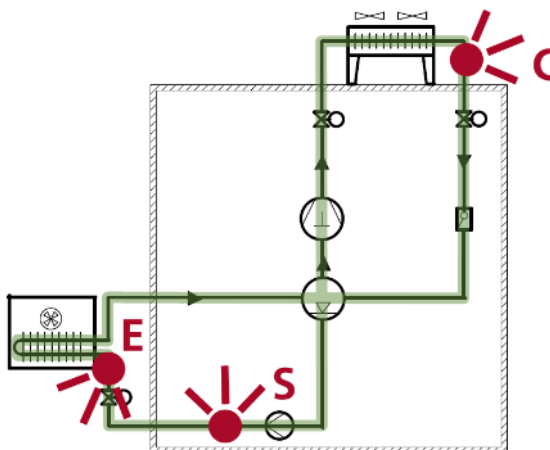
Figure 15 : Scénarios de libération à prendre en compte pour estimer l'ampleur des dommages.

Scénarios de libération et modèle de propagation du gaz

Type 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 la ventilation, si l'évaporateur se trouve dans le bâtiment

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

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

Libération continue

E : Continue, gaz lourd, 80 % d'aérosol dans le nuage (Figure 46 à Figure 48)

Continue, gaz neutre (Figure 49 à Figure 54)

S : Continue, gaz neutre (Figure 49 à Figure 54)

C : Continu, gaz lourd, 80 % aérosol dans le nuage (Figure 46 à Figure 48)

Libération spontanée

Libération à partir du séparateur :

— Par le biais de la ventilation, si dans un local intérieur

— Ou par une (des) ouverture(s) dans la façade vers l'extérieur, si dans un local adjacent à la façade extérieure

— Continue, gaz neutre (Figure 49 à Figure 54)

— Spontanée, gaz lourd, 50 % aérosol dans le nuage (Figure 43 à Figure 45)

[Retour à la table des matières](#)

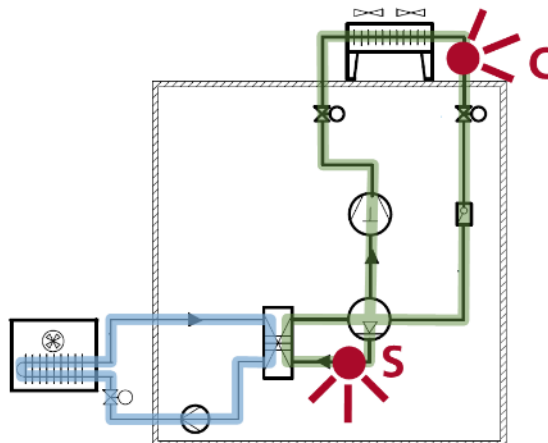
Figure 16 : Scénarios de libération à prendre en compte pour estimer l'ampleur des dommages.

Scénarios de libération et modèle de propagation du gaz

Type 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 la ventilation, à partir de la conduite de fluide située après le séparateur

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

Libération continue

S : Continu, gaz neutre, (Figure 49 à Figure 54)

C : Continu, gaz lourd, 80 % aérosol dans le nuage (Figure 46 à Figure 48)

Libération spontanée

Libération à partir du séparateur :

— Par le biais de l'aération, si dans un local intérieur

— Ou par une (des) ouverture(s) dans la façade vers l'extérieur, si dans un local adjacent à la façade extérieure

— Continu, gaz neutre (Figure 49 à Figure 54)

— Spontanée, gaz lourd 50 % aérosol dans le nuage (Figure 43 à Figure 45)

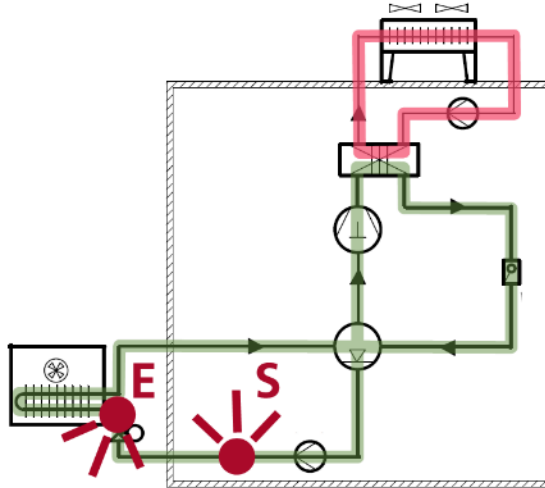
[Retour à la table des matières](#)



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 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 la ventilation, si l'évaporateur se trouve dans le bâtiment
- S : Dans l'environnement, par le biais de la ventilation, à partir de la conduite de fluide située après le séparateur

Libération continue

- E : Continu, gaz lourd, 80 % aérosol dans le nuage (Figure 46 à Figure 48)
- Continu, gaz neutre (Figure 49 à Figure 54)
- S : Continu, gaz neutre (Figure 49 à Figure 54)

Libération spontanée

Libération à partir du séparateur :

- Par le biais de l'aération, si dans un local intérieur
 - Ou par une (des) ouverture(s) dans la façade vers l'extérieur, si dans un local adjacent à la façade extérieure
- Continu, gaz neutre (Figure 49 à Figure 54)
 - Spontanée, gaz lourd, 50 % aérosol dans le nuage (Figure 43 à Figure 45)

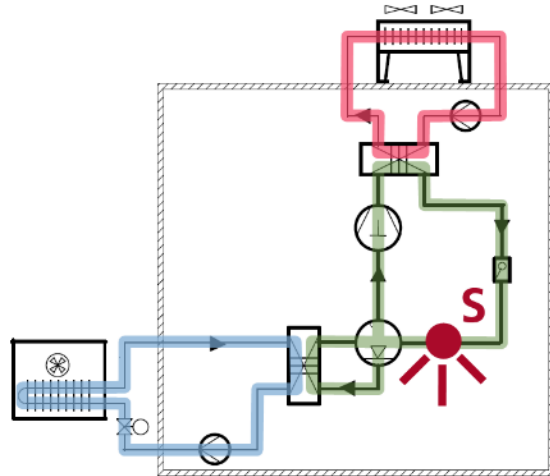
[Retour à la table des matières](#)



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 4
Caloporteur
Frigoporteur



Scénarios à examiner :

Type de propagation du gaz et
modèle de propagation à utiliser

Libération continue

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

Libération continue

S : Continu, gaz neutre
(Figure 49 à Figure 54)

Libération spontanée

Libération à partir du séparateur :

- Par le biais de la ventilation vers l'extérieur, si dans un local intérieur
 - Ou par une (des) ouverture(s) dans la façade vers l'extérieur, si dans un local adjacent à la façade extérieure
- Continu, gaz neutre
(Figure 49 à Figure 54)
 - Spontanée, gaz lourd, 50 % aérosol dans le nuage
(Figure 43 à Figure 45)

[Retour à la table des matières](#)



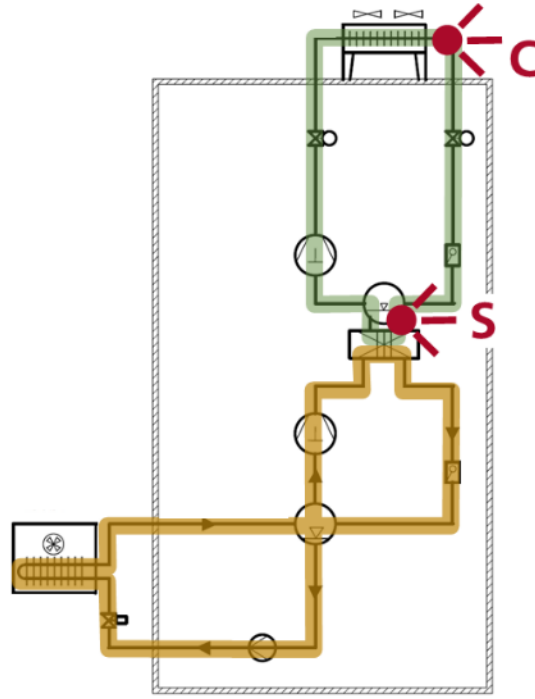
Figure 19 : Scénarios de libération à prendre en compte pour estimer l'ampleur des dommages.

Scénarios de libération et modèle de propagation du gaz

Type 5

Condensation directe

Évaporation directe CO₂



Scénarios à examiner :

Type de propagation du gaz et modèle de propagation à utiliser

Libération continue

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

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

Libération continue

S : Continu, gaz neutre, (Figure 49 à Figure 54)

C : Continu, gaz lourd, 80 % aérosol dans le nuage (Figure 46 à Figure 48)

Libération spontanée

Émission du séparateur :

— Par le biais de la ventilation vers l'extérieur, si dans un local intérieur

— Ou par une (des) ouverture(s) dans la façade vers l'extérieur, si dans un local adjacent à la façade extérieure

— Continu, gaz neutre (Figure 49 à Figure 54)

— Spontanée, gaz lourd, 50 % aérosol dans le nuage (Figure 43 à Figure 45)

[Retour à la table des matières](#)

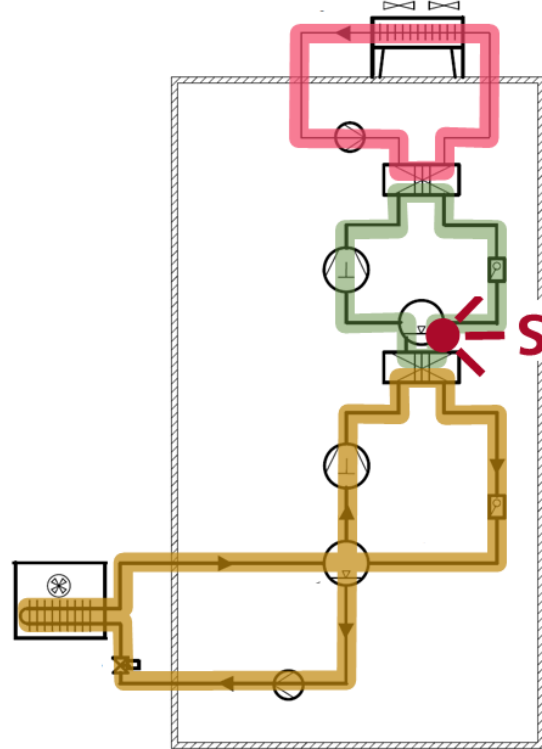
Figure 20 : Scénarios de libération à prendre en compte pour estimer l'ampleur des dommages.

Scénarios de libération et modèle de propagation du gaz

Type 6

Caloporteur

Condensation directe CO₂



Scénarios à examiner :

Type de propagation du gaz et modèle de propagation à utiliser

Libération continue

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

Libération continue

S : Continu, gaz neutre (Figure 49 à Figure 54)

Libération spontanée

Émission du séparateur :

- Par le biais de la ventilation, si dans un local intérieur
- Ou par une (des) ouverture(s) dans la façade vers l'extérieur, si dans un local adjacent à la façade extérieure

- Continu, gaz neutre (Figure 49 à Figure 54)
- Spontanée, gaz lourd, 50 % aérosol dans le nuage (Figure 43 à Figure 45)

[Retour à la table des matières](#)



Figure 21 : 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

Libération continue

S : Continu, gaz lourd, 80 % aérosol dans le nuage (Figure 46 à Figure 48)

Libération spontanée

— Totalité du contenu directement dans l'environnement

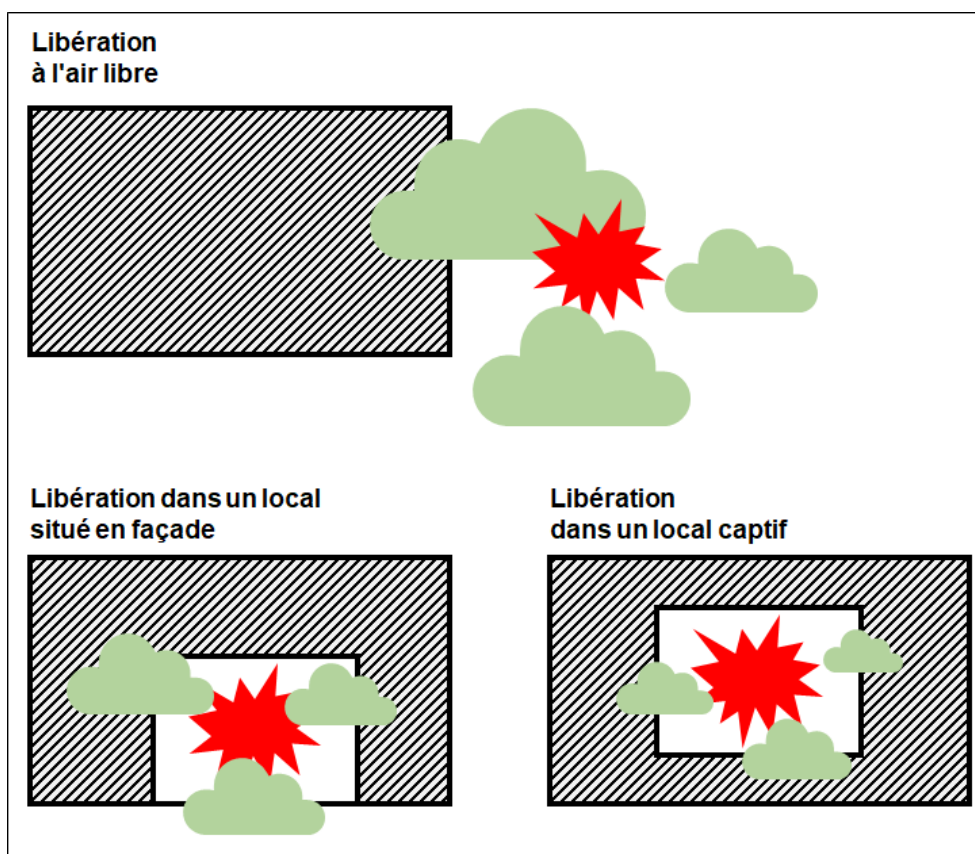
— Spontanée, gaz lourd, 50 % aérosol dans le nuage (Figure 43 à Figure 45)



4.4.2 Quantité libérée ou taux de libération

Lors de la détermination de l'ampleur maximale possible 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 aucune mesure de sécurité active ne peut être prise en compte 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 de libération, une partie de la substance forme une flaque au sol et ne s'évapore que très lentement. En outre, les gouttelettes d'aérosol emportées par le gaz libéré se déposent plus ou moins 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 (adjacent à une façade) » et « dans un local intérieur » (voir Figure 22 ou chapitre 2.2.3).

Figure 22 : 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 participant à 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 considérations analogues. Le Tableau 5 reprend les valeurs correspondantes ; les valeurs pour les pompes à chaleur sont indiquées séparément. Pour la dérivation des valeurs, cf. annexe A5.

[Retour à la table des matières](#)**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	Facteurs de correction K_{Lieu} ²⁴			
	Libération continue		Libération spontanée	
Lieu de libération	Installation frigorifique	Pompe à chaleur	Installation frigorifique	Pompe à chaleur
Libération à l'air libre	1.0	1.0	0.4	1.0
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)	1.0	0.4 ou 0.2 ; (voir Tableau 17, annexe A5)	1.0
Libération dans un local intérieur. Terme source continu, libération par les conduits d'aération en l'espace de 10 min.	0.2	0.4	0.2 ²⁵	0.4

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

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

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 l'intervalle de temps dans lequel 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.

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 [Lit. 15][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 de ventilation. Pour la propagation à l'air libre, on part d'un terme source continu, avec une durée d'émission de 10 min.

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.



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 et 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 séparateur, 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 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 jusqu'à 2 000 kg d'ammoniac et qui sont soumises à l'OPAM en vertu de l'art. 1, al. 3, il n'est dès lors 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.

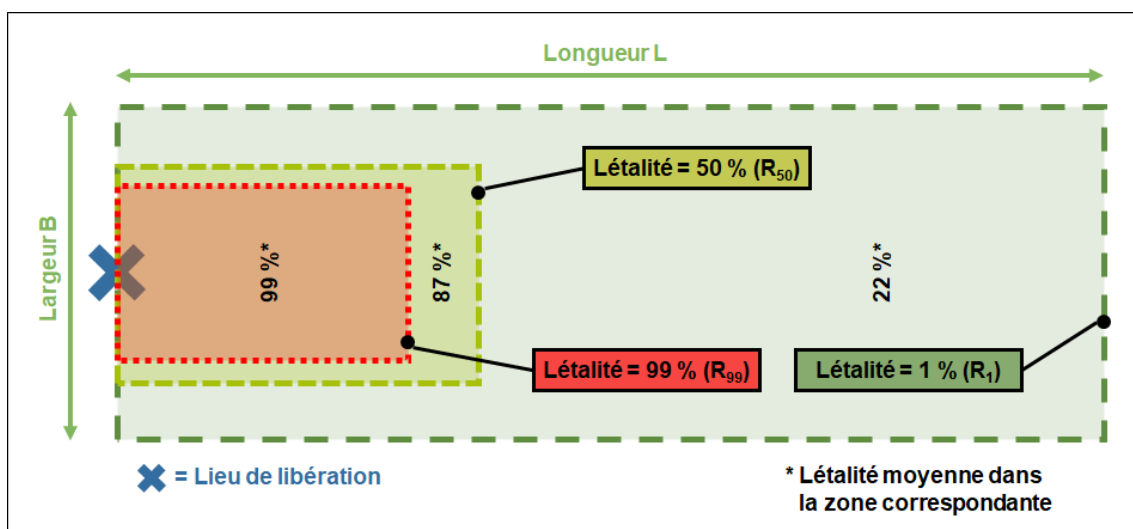
²⁷ Le taux de libération est limité par le diamètre maximal de la conduite. Ce diamètre augmente toutefois moins que proportionnellement avec la quantité d'ammoniac, vu que le plus grand volume de remplissage n'est que partiellement lié à la plus grande puissance frigorifique. Des facteurs au moins aussi 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).



4.5.1 Calcul de la propagation à l'extérieur : modèle simplifié

Lorsque la propagation de gaz est calculée avec des outils informatiques appropriés, 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 considérées comme rectangulaires (cf. Figure 23) ; 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 desquelles la létalité est de 99 % (= R_{99}), 50 % (= R_{50}) ou 1 % (= R_1) (en s'appuyant sur [Lit. 19]). Dans ces zones, on escompte des létalités moyennes de 25 %, 87 % et 99 %.

Figure 23 : 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 Figure 43 à Figure 45, annexe A5)
- Libération avec terme source continu :
 - Propagation sous forme de gaz lourd, part d'aérosol dans le nuage, 80 % (voir Figure 46 à Figure 48, annexe A5),
 - Propagation sous forme de gaz neutre (pas d'aérosol dans le nuage) (voir Figure 49 à Figure 54, 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 2.2.6.



4.6 Estimation de l'ampleur des dommages

4.6.1 Indicateurs de dommages

Pour l'ammoniac, seul l'indicateur « nombre de décès », selon les critères d'appréciation pour l'OPAM (voir [Lit. 15]), 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 tiers.
- Pour les surfaces déjà classées en zones à bâtir mais non encore construites, il faut partir du futur nombre de personnes présentes. Les bases nécessaires pour ces estimations sont disponibles dans [Lit. 19] (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 travail²⁸. Il convient ce faisant de vérifier si, outre la population résidente et la population active, il y a lieu de prendre en compte d'autres utilisations 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 par l'auteur du rapport succinct, à l'aide d'une visite des lieux et / ou en concertation 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 était alors a priori plus étendue qu'en dehors de ces heures.
- Pour la présence de la population résidente et active en fonction de l'heure de la journée et de leur présence en plein l'air, les hypothèses ci-après se sont établies (voir [Lit. 19]).

²⁸ Par exemple, les données cadastrales géocodées 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 2018).

[Retour à la table des matières](#)**Tableau 6 : Facteurs de présence pour la population résidente et les travailleurs, en fonction de l'heure**

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

- Si des entreprises aux facteurs de présence très différents se trouvent dans le voisinage, ces valeurs doivent être adaptées au cas par cas. (p. ex. travail de nuit régulier, travail en équipes, etc. pendant 24 heures et 7 jours par semaine : on suppose que 20 % des travailleurs en équipe sont présents jour et nuit), voir [Lit. 19]. La plausibilité du nombre de personnes en plein air ainsi déduit à l'intérieur de la zone à risque doit être vérifiée dans tous les cas.
- Les rassemblements de personnes qui ont lieu rarement, irrégulièrement ou dans l'espace public autour de l'installation doivent être pris en compte conformément au chapitre 2.2.4 et à la figure 12.
- Il ne faut pas inclure les passagers de voitures ou de trains qui roulent³⁰. Si une route affectée quotidiennement par des embouteillages se situe dans la zone à risque, les personnes prises dans les bouchons doivent 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).

²⁹ La proportion accrue de 30 % de personnes à l'extérieur devrait être utilisée pour les bâtiments qui se trouvent très près du lieu de libération (distance jusqu'à R_{50}) et qui présentent en même temps un taux de renouvellement d'air élevé, typiquement des bâtiments à usage industriel par exemple.

³⁰ 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.



- 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 divergences 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, l'ampleur des dommages pourrait être sous-estimée. Pour compenser ce facteur, on peut supposer, pour les bâtiments industriels situés à proximité du lieu d'émission, qu'une part plus élevée du personnel se trouve en plein air et n'est donc 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} , conduit à une ampleur des dommages comparable à ce qu'elle serait si l'on tenait compte d'une protection moindre du bâtiment³¹.
 - 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 2.2.6.

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.

³¹ Hypothèse : les personnes sont réparties uniformément dans la zone de danger. Si la majorité des personnes se trouve très proche de l'installation, l'ampleur est sous-estimée avec cette hypothèse. Si elles sont plus éloignées, elle est surestimée.

5. Comparaison des systèmes de réfrigération



5.1 Quand une telle comparaison est-elle judicieuse ?

Si une installation frigorifique à l'ammoniac est soumise ou a été soumise à l'OPAM, l'autorité d'exécution compétente doit évaluer l'ampleur des dommages possibles et plausibles (rapport succinct) et exiger au besoin des clarifications plus précises concernant du risque émanant de l'installation (étude de risque). Si la courbe cumulative se situe dans le domaine intermédiaire du diagramme PC, l'autorité d'exécution procède à une pesée des intérêts. Dans ce cadre, il est également possible de vérifier si le risque peut être réduit par la transformation en un autre type d'installation (cf. chapitre 1.1). Outre le risque, il faut également prendre en compte d'autres critères importants pour la planification d'une nouvelle installation frigorifique ou la rénovation d'une installation existante.

- Une comparaison systématique des différentes variantes d'installations permet aux autorités d'exécution d'évaluer la situation de manière transparente et équitable pour toutes les parties. C'est pourquoi il est recommandé de remettre aux autorités d'exécution une comparaison simple et claire des systèmes des différentes variantes d'installations. Celle-ci doit servir d'outil pour une discussion objective entre l'autorité d'exécution et le détenteur. Une comparaison de systèmes doit donc être remise dans les cas suivants : Lors du dépôt d'une demande de construire (assainissement important d'une installation existante ou construction d'une nouvelle installation), à titre de base de discussion pour les autorités ou entre autorité d'exécution et requérant.
- 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 le domaine intermédiaire, à titre de base pour la pesée des intérêts par les autorités ou par l'autorité d'exécution.

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 au site (niveau RS ou ER) et d'autres conditions cadres, semble judicieuse dans ce cas également.

5.2 Portée : permettre un aperçu global

La comparaison des systèmes doit donner à l'autorité un aperçu rapide 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. Lorsque cela est nécessaire à la compréhension générale, les informations les plus importantes concernant l'origine des données doivent également être documentées sous forme de mots-clés.

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. Prévention des accidents majeurs (ampleur des dommages) ;
2. Sécurité au travail ;
3. Coûts 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.



Prévention des accidents majeurs (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 du point de vue 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 ou sur l'estimation de l'ampleur au niveau du rapport succinct (cf. chapitre 4).

Sécurité au travail

Les différences concernant 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. Pour l'ammoniac, il faut tenir compte non seulement de l'effet toxique, mais aussi de l'effet d'avertissement en cas de petites fuites dues à l'odeur intense, et pour le CO₂ de l'effet d'étouffement possible sans avertissement sensoriel préalable.

Coûts 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 coûts d'investissement et d'exploitation. Les coûts énergétiques ne doivent pas être pris en compte ici, puisqu'ils sont traités séparément à la section « Efficacité énergétique ».

Les coûts 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 des compresseurs.

Il s'agit alors, sur la base des clarifications effectuées autour du critère « accident majeur » (ampleur des dommages), de mettre en relation les coûts 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 coûts d'investissement doivent être convertis en coûts annuels moyens sur la base 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 constituent 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,

[Retour à la table des matières](#)



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

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
	<i>Refroidissement du champ de glace direct avec NH₃</i>	<i>Refroidissement de champ de glace indirect avec Glycol 35%</i>	<i>Refroidissement de champ de glace direct avec CO₂</i>
Accidents majeurs (ampleur des dommages)	(Indication qualitative)		
Sécurité au travail			
Coûts de construction par piste [CHF]			
Coût de construction global [CHF]			
* Investissement global, projet en cours [CHF]			
* Chiffre d'affaires annuel sur le site [CHF]	(Indication qualitative)		
* Nombre d'emplois sur le site			
Besoins énergétiques [MWh/année]			
Coûts énergétiques n [CHF/année] (Base : x Rp/kWh)			
Rendement [%] ³²			
Consommation énergétique relative patinoire ouverte	100 %	X %	Y %

Les points avec un * aident les autorités (d'exécution) 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.

³² Besoin en énergie par puissance frigorifique

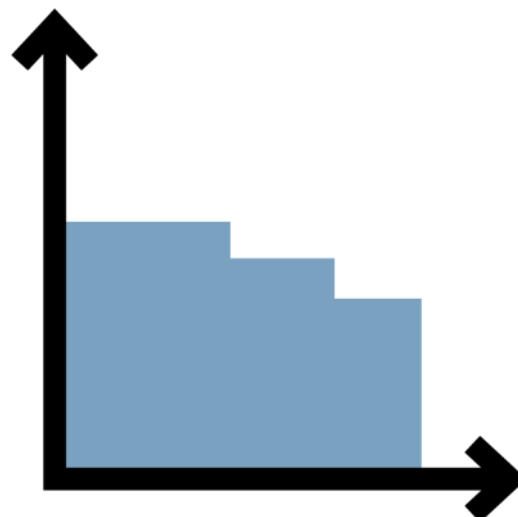


5.4 Interprétation : les adaptations permettent-elles d'atteindre les objectifs visés, sont-elles économiquement supportables et proportionnelles ?

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 qui 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 doit être considérée comme un outil qui offre une base de discussion uniforme et transparente entre le planificateur / le propriétaire et les autorités (d'exécution) et qui doit contribuer à un jugement équilibré des autorités.

6. Étude de risque



6.1 But et portée

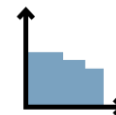
Le but de l'étude de risque est de vérifier si les risques émanant d'une installation sont supportables. Ce document repose sur les critères d'appréciation de l'OFEV ([Lit. 15]). Les exigences relatives au contenu de cette étude sont énoncées sommairement dans l'annexe 4 de l'OPAM. D'autres explications se trouvent dans la partie générale du manuel de l'OPAM, voir [Lit. 7]. 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 documentées d'une façon compréhensible et plausible.

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 à suivre est décrite dans le manuel de l'OPAM, voir [Lit. 7]).

6.3 Types d'événements à examiner

Au niveau de l'identification des risques, il convient de vérifier, indépendamment du contenu du rapport succinct, quels scénarios sont réalistes et doivent être évalués. Cela concerne le lieu de la dissémination, la quantité disséminée et d'autres paramètres. Les scénarios présentés au chapitre 5 du rapport succinct sont



conservateurs et doivent être adaptés au niveau de l'évaluation des risques (p. ex. en ce qui concerne les taux de dissémination et les paramètres spécifiques au site).

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 énumérées ci-après peuvent être utilisées pour déterminer les fréquences de base pour les taux de défaillance ou les causes d'incidents. La liste n'est pas exhaustive ; au besoin, il convient d'utiliser des données issues de la littérature ou de la pratique. Défaillance de composantes techniques

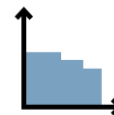
- Center for Chemical Process Safety (1989): Guidelines for Process Equipment Reliability Data. With Data Tables. American Institute of Chemical Engineers.
- VROM (2005) : «Red Book». Methods for determining and processing probabilities. La Haye.

Mauvaises manipulations

- Il est en principe délicat de réduire la fréquence des erreurs humaines à une valeur chiffrée valable pour tous : Elle dépend fortement de l'environnement de travail concret (directives organisationnelles, culture de la sécurité, conditions techniques, etc.) Il existe néanmoins des modèles qui tentent une quantification correspondante, par exemple :
- F.P. Lees (2005) : 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. 20]) est cependant relativement ancienne. Lors de l'évaluation d'installations spécifiques, il convient en outre de tenir compte de différents aspects supplémentaires :

- L'étude susmentionnée [Lit. 20] 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) (2022) : aviation civile suisse, en 2021. Neuchâtel.

Fréquence des chutes d'avion :

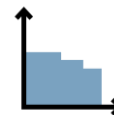
- Office fédéral de la statistique, différents dossiers électroniques <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/mobilite-transport/themes-transversaux/aviation-civile.html>
- Office fédéral de l'aviation civile (OFAC), Office fédéral des aéroports militaires (OFAEM) (1993) : Die Auswirkungen der Luftfahrt auf die Umwelt – Teilbericht Absturzrisiken. Élaboré par Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich.

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 (2020) : Actions sur les structures porteuses. Norme suisse SN 505 261.
- Un événement d'une période de retour de 475 ans y est défini comme séisme de dimensionnement pour les constructions. Les valeurs de référence de l'accélération du sol sur la roche (a_{gd}) sont définies pour différentes zones sismiques en Suisse : Zone sismique 1a : $a_{gd} = 0.6 \text{ m/s}^2$
- Zone sismique 1b : $a_{gd} = 0.8 \text{ m/s}^2$

[Retour à la table des matières](#)



- Zone sismique 2 : $a_{gd} = 1.0 \text{ m/s}^2$
- Zone sismique 3a : $a_{gd} = 1.3 \text{ m/s}^2$
- Zone sismique 3b : $a_{gd} = 1.6 \text{ m/s}^2$

Le sous-sol local peut avoir une influence marquante sur l'intensité du séisme. Celle-ci est donc prise en compte par des facteurs de correction. Pour certaines régions, on dispose en outre de microzonages qui permettent une estimation plus précise du danger local. Lorsqu'elles existent, ces données peuvent également être prises en compte. Le tracé spatial des zones sismiques figure sur les cartes de Swisstopo :

- <http://map.geo.admin.ch/> ; Layer «Gefährdungszonen für Erdbeben»

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) (2015) : Seismic Hazard Assessment of Switzerland, 2015. Zurich.

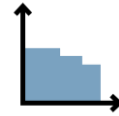
Tous les séismes (faibles) n'entraînent pas automatiquement une libération de substances d'installations techniques. Différents documents aident à estimer la probabilité que des émissions se produisent dans une installation suite à des tremblements de terre de différentes intensités :

- 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 Estimation the Risk of Post-Earthquake Hazardous Materials Release, Technical Report NCEER-96-0013, Buffalo NY, USA.
- Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) (2022) : Leitfaden. Der Lastfall Erdbeben im Anlagenbau. Francfort.
- Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) (2022) : 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'escompter d'autres dangers naturels pour le site considéré. Beaucoup de cantons mettent ces cartes à disposition en ligne, sur leur géoportail. Il existe une compilation des liens vers ces portails sur le site Web de la Conférence des services cantonaux de géoinformation.

<https://www.kgk-cgc.ch/geodaten>



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. 21], 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 libérée 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 (kg/s) à partir d'une conduite transportant du liquide peut par exemple être calculé à l'aide de la formule suivante ([Lit. 22], p. 8 et 31 ; 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.
Λ	1.17 x 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 x 10 ³ J/(kg K)	Capacité thermique spécifique de l'ammoniac

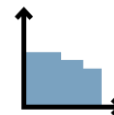
Facteur de correction

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. 22], p. 29 ss. ou [Lit. 22], p. 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'un dégagement spontané ne devrait donc se baser que sur des quantités d'ammoniac importantes et cohérentes, p. ex. le contenu d'un séparateur, et non le contenu total de l'installation.



6.6 Propagation du nuage toxique

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 Gexcon, Trace de SAFER System, SLAB View de Lakes Environmental, HGSYSSTEM de Shell Research Thornton ou FDS de NIST (US National Institute of Standards and Technology).

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.

Les valeurs Probit du RIVM³³ sont utilisées comme données de base. Il convient d'une manière générale de vérifier si des valeurs actualisées sur la toxicité ont été publiées.

6.7.1 Létalités moyennes

Il est permis d'utiliser la même méthodologie prudente pour dériver les létalités moyennes que pour le rapport succinct (cf. chapitre 4.5 pour les zones de létalité 1 %, 50 % et 99 % selon la Figure 23) y compris les zones de létalité selon la Figure 32. Alternativement, il est possible de faire soi-même des calculs.

6.7.2 Nombre de personnes présentes

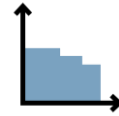
Au niveau de l'étude de risque, il faut distinguer entre différentes plages, avec différents nombres de personnes présentes, en tenant compte aussi de la fréquence de ces situations, par exemple, jour / nuit, jour ouvrable / weekend, circulation aux heures de pointe, événements spéciaux, etc. – à ce 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. 23] 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 rapidement que le gaz d'ammoniac ne se propage.

³³ RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu), <https://www.rivm.nl/probitrelaties/ammoniak>



- 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 les taux de fuite sont 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 :

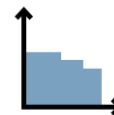
- Terme source spontané : 60 % des personnes concernées peuvent fuir à temps.
- Terme source continu : 80 % des personnes concernées peuvent fuir à temps.

6.7.4 Il convient d'évaluer la situation pour savoir si ces personnes fuient la zone de danger ou si elles se réfugient simplement dans des bâtiments voisins, où des dommages corporels peuvent également survenir (cf. chapitre 6.7.5). 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 de manière échelonnée dans le temps, de sorte 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 ?
- Un plan d'évacuation a-t-il été dressé pour l'éventualité d'une libération d'ammoniac ?

³⁴ Le personnel de l'entreprise n'est pas pris en compte dans la prévention des accidents majeurs. La sécurité de ces personnes est en effet couverte par la protection des travailleurs.



- 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 ?

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 :

- Ventilation naturelle ou mécanique du bâtiment ;
- Taux de renouvellement d'air (perméabilité naturelle de l'enveloppe du bâtiment, ventilation mécanique, ventilation 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 la ventilation 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

Addition d'air extérieur

Lorsque l'air évacué est mélangé mécaniquement avec de l'air extérieur avant son émission, on parle d'addition d'air extérieur. Ce mélange peut concerner différentes parties de l'installation, signifiant que la dilution de l'air évacué peut varier.

Lieux d'aménagement des installations frigorifiques

Selon [Lit. 8] on distingue quatre classes de lieux :

- Classe I — Appareils mécaniques situés dans la zone où séjournent des personnes
- Classe II — Condenseur dans la salle des machines ou à l'extérieur
- Classe III — Salle des machines ou à l'extérieur
- Classe IV — Enveloppe avec aération

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).

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.

Le refroidissement est parfois assuré également par des eaux souterraines ou des eaux superficielles, ce qui peut se faire directement ou par l'intermédiaire d'un circuit secondaire.

Détecteur de gaz

Les détecteurs de gaz servent à déceler la présence de gaz et à analyser ce dernier. Il s'agit généralement de capteurs chimiques qui transforment les informations de l'atmosphère environnante en signaux électriques utilisables. La directive SN EN 378 désigne les capteurs de gaz par le terme « détecteurs ».

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.

Condenseur hybride

Désigne un type de condenseur spécifique. Lorsque la température ambiante 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).

[Retour à la table des matières](#)

Installation frigorifique

Une installation frigorifique sert à faire baisser la température d'un local ou d'une zone spécifique en dessous de la température ambiante. Elle retire pour ce faire de la chaleur à l'endroit devant être refroidi pour la restituer à un autre endroit, situé en dehors de l'espace traité. Il s'agit d'un processus permanent. La chaleur à évacuer est absorbée par un fluide de travail, qui est refroidi par une machine thermique.

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 CO₂.

Canaux de distribution/collecte

Canaux accueillant les conduites d'alimentation et de retour dans la zone publique des patinoires.

Canal de conduite

Canal accueillant les conduites d'alimentation et de retour entre la salle des machines et les canaux de distribution/collecte.

Ventilation

Une installation de ventilation technique sert à renouveler ou à traiter l'air dans une salle (des machines). L'air amené dans la salle est appelé air entrant, celui qui la quitte est l'air évacué. Si l'air est traité puis ramené dans le même local, on parle d'air ambiant.

Gaz neutre

Un gaz neutre est caractérisé par le fait que sa densité est identique ou inférieure à celle de l'air ambiant. En comparaison d'un gaz lourd, il se répand plus rapidement sous l'effet du mouvement de l'air. On assiste à un processus de dilution du nuage, résultant d'une diffusion turbulente. L'addition d'air fait que le nuage est dilué en continu et augmente en volume, tandis que le gaz neutre grimpe dans des couches d'air plus élevées.

Coupure d'urgence

L'arrêt d'urgence stoppe tous les dangers (mouvements). L'énergie pour les commandes est maintenue, à la différence de la coupure d'urgence.

Arrêt d'urgence

L'arrêt d'urgence stoppe tous les dangers (mouvements). L'énergie pour les commandes est maintenue, à la différence de la coupure d'urgence.

Aération de secours, mécanique

L'aération qui, selon [Lit. 10], chapitre 5.13.3, est activée par un ou plusieurs détecteurs de gaz installés dans la salle des machines. L'aération d'urgence (mécanique) doit être équipée de deux interrupteurs indépendants, dont l'un doit se situer à l'intérieur et l'autre à l'extérieur de la salle des machines.

Zone où se tiennent des personnes

Selon [Lit. 9] une zone où se tiennent des personnes est un espace situé à l'intérieur d'un bâtiment et qui est délimité par des parois, des sols et des plafonds, dans lequel des personnes se tiennent pendant une durée prolongée. En rapport avec la prévention des accidents majeurs, plus précisément pour évaluer l'ampleur des dommages et pour prendre des mesures de sécurité appropriées, les zones pertinentes où se tiennent des personnes sont celles qui sont utilisées régulièrement par des tiers (p. ex. sportifs ou spectateurs dans les patinoires). Ne sont pas comprises les zones utilisées par les membres du personnel et par d'autres personnes liées au détenteur par un rapport contractuel (p. ex. ouvriers, prestataires de service), et qui se trouvent sur l'aire d'exploitation.

Niveau de performance (PL)

Plus le risque est important, plus les exigences auxquelles doivent satisfaire les systèmes de commande sont élevées. Les situations à risque sont réparties en cinq niveaux dits de performance (Performance Level, PL), qui vont de PL « a » (faible) à PL « e » (élevé). Le PL est déterminé et attribué dans le cadre de l'évaluation du risque selon la directive EN ISO 13849-1.

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.

Zone publique

La zone publique est un espace où peuvent se tenir des personnes externes à l'exploitation, à savoir des tiers. Le public comprend toutes les personnes qui ne font pas partie du personnel d'exploitation. Les espaces accessibles au public sont clairement délimités/signalisés. Ils peuvent se situer en plein air ou à l'intérieur d'un bâtiment.

Terme source

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

Refroidissement

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 »).

Gaz lourd

Les gaz lourds ont, par définition, une densité supérieure à celle de l'air ambiant. C'est le cas lorsque les gaz ont un poids moléculaire supérieur à celui de l'air ambiant ou s'ils contiennent des aérosols qui augmentent la densité. Lorsqu'ils se trouvent dans un nuage ou un panache, ces gaz affichent une dynamique propre très marquée. En raison des forces ascensionnelles négatives, ces nuages se propagent près du sol, sous la forme d'une couche plane.

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 CO₂. L'échange d'énergie entre les circuits secondaire et primaire se fait à l'aide d'un échangeur de chaleur.

Niveau d'intégrité de sécurité (SIL)

Le « niveau d'intégrité de sécurité » est défini dans la norme de sécurité EN 61508, issue de la norme internationale CEI 61508. Elle définit :

« Quatre niveaux relatifs de réduction de risques inhérents à une fonction de sécurité, où le niveau SIL 4 correspondant à l'intégrité de sécurité la plus élevée et SIL 1 la plus basse. »

L'évaluation du niveau SIL requis est assurée par les fabricants des dispositifs, sur la base des normes applicables.

Pompe à chaleur

Une pompe à chaleur est une machine thermique qui, par un travail mécanique, puise de l'énergie thermique dans un réservoir à basse température et la transfère, sous forme de chaleur utile, à un système à chauffer à une température supérieure. Il s'agit de l'inverse du processus chaleur force d'une installation frigorifique. Les pompes à chaleur sont utilisées notamment à des fins de chauffage.

Zones d'accès

Selon [Lit. 8] on distingue les trois catégories de zones d'accès ci-après. Au chapitre 5.1.1, il est précisé que la catégorisation de ces zones peut varier en fonction des exigences nationales.

1. Catégorie a — Locaux, parties de bâtiments et bâtiments où se trouvent des aménagements pour dormir, où les personnes sont limitées dans leurs mouvements, où peut se tenir un nombre incontrôlé de personnes ou encore accessibles à toute personne qui n'est pas personnellement au courant des mesures de sécurité requises.
2. Catégorie b — Locaux, parties de bâtiments et bâtiments où se tient uniquement un nombre limité de personnes, dont une partie connaît les mesures de sécurité générales de l'installation.
3. Catégorie c — Locaux, parties de bâtiments et bâtiments auxquels seules des personnes autorisées ont accès, qui connaissent les mesures de sécurité générales et particulières de l'installation, et dans lesquels des matériaux ou des marchandises sont fabriqués, traités ou stockés.

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 le chapitre 1.1).

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'ORRChim, 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
27.02.1991
- [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 1^{er} décembre 2022)
- [Lit. 3] 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. – n'est plus valable depuis 2013
2009
- [Lit. 4] Office fédéral de l'environnement (OFEV)
Installations contenant des fluides frigorigènes : du concept à la mise sur le marché. Aide à l'exécution de l'OFEV concernant les réglementations relatives aux installations de réfrigération et de climatisation ainsi qu'aux pompes à chaleur fonctionnant avec des fluides frigorigènes synthétiques.
5^e édition actualisée, 2022
- [Lit. 5] Office fédéral de l'environnement (OFEV)
Seuils quantitatifs selon l'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM)
Liste des substances et préparations.
2017
- [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)
Manuel de l'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM), Partie générale
2018
- [Lit. 8] 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 : 2021-02

- [Lit. 9] 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 : 2017-45
- [Lit. 10] 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 : 2021-02
- [Lit. 11] 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 : 2020-04
- [Lit. 12] Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail (CFST)
Directive CFST no 6507. Ammoniac. Entreposage et manipulation.
Édition : août 1995
- [Lit. 13] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Technische Regel für Anlagensicherheit (TRAS 110), Neufassung September 2021, Sicherheitstechnische Anforderungen an Ammoniak-Kälteanlagen
Édition : novembre 2021
- [Lit. 14] Commission européenne
DIRECTIVE 2014/34/UE (ATEX 137)
Version française de mai 2020, 3e édition
- [Lit. 15] Office fédéral de l'environnement OFEV
Critères d'appréciation relatifs à l'OPAM
2018
- [Lit. 16] Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung IFA
GESTIS-Stoffdatenbank
<http://www.dguv.de/ifa/Gefahrstoffdatenbanken/GESTIS-Stoffdatenbank/index.jsp>
- [Lit. 17] Ineris
Ammonia. Large -scale atmospheric dispersion tests
Work Study. 20.12.2005

[Retour à la table des matières](#)

- [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] 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. 20] H.P. Balfanz, M. Hein, P. Wietfeldt
Ermittlung der Trefferwahrscheinlichkeit durch abstürzende Flugzeuge
Dans «Technische Überwachung» TÜ 23, N° 3, mars 1982.
- [Lit. 21] 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. 22] American Institute of Chemical Engineers (AIChE), Center for Chemical Process Safety
Workbook of Test Cases for Vapor Cloud Source Dispersion Models.
1989.
- [Lit. 23] OFEFP, Groupe de travail Ammoniac
Methodikbeispiel einer Risikoermittlung für die Ammoniak-Kälteanlage einer Kunsteisbahn
Établi par Basler & Hofmann AG, 1999 (projet / non publié)
- [Lit. 24] TNO – The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research
EFFECTS. Modelling the effects of accidental release of hazardous substances
Version 8.1.6, 2011
- [Lit. 25] Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, The Netherlands
Publication Series on Dangerous Substances (PGS 3), Guidelines for quantitative risk assessment *Purple Book*.
Décembre 2005

Autres sources pertinentes

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (BMUJF, Österreich)

Referenzszenarien zur Richtlinie 96/82/EG

1999

Dr. B. Covelli, Prof. Ph. Rudolf von Rohr

NH₃-Unfall im Bevorratungsraum

ETH Zürich, Institut für Verfahrenstechnik, April 1998

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, zweite überarbeitete Ausgabe Juli 2000

Schweizerische Rückversicherungsgesellschaft

DispTool

Handbuch, Zürich, 1990

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Arbeitsgruppe Flüssiggas-Tankanlagen

Rahmenbericht Flüssiggas-Tankanlagen zum Kurzbericht und zur Risikoeermittlung im Hinblick auf die Störfallvorsorge

Établi par Basler & Hofmann AG, 1992

TNO – The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research

Methods for the determination of possible damage, CPR 16E, 1992

Suva Arbeitssicherheit

Merkblatt 2153: Explosionsschutz – Grundsätze, Mindestvorschriften, Zonen-

überarbeitete Ausgabe: Februar 2020

Europäische Kommission, GD Beschäftigung und Soziales

Nicht verbindlicher Leitfaden für bewährte Verfahren im Hinblick auf die Durchführung der Richtlinie 1999/92/EG über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können

April 2003

Bundesamt für Umwelt BAFU

Mindesthöhe von Kaminen über Dach. Kamin-Empfehlungen.

1. Aktualisierte Auflage, Dezember 2018. Erstausgabe 2013.

A1 Évaluation de pannes et d'accidents majeurs

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.

Domage

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. 13]).

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 1 200 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 1 900 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 « Methodikbeispiel einer Risikoermittlung für die Ammoniak-Kälteanlage einer Kunsteisbahn » de 1999, [Lit. 23]. 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 1 200 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

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.

[Retour à la table des matières](#)

Hypothèses dans les études de risque et les rapports succincts évalués

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, HGSYSYSTEM 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.
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 0,7 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 0,7.

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.

A3.1 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. 24]).

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

Calculs de propagation	
Paramètre	
Modèle au gaz lourd	Les essais de propagation effectués par INERIS ([Lit. 17]) avec des quantités d'ammoniac émises de 1 400 à 3 500 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	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. 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.
Taux de libération	Ces taux sont définis spécifiquement pour chaque installation (cf. chapitre 2.2.3).

[Retour à la table des matières](#)

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 qu'une quantité d'ammoniac nettement supérieure passe dans le nuage d'ammoniac 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. 15], établissant le lien suivant entre le lieu de libération et la répartition de l'ammoniac entre les différentes phases les valeurs pour les installations frigorifiques sont indiquées avec IF, celles pour les pompes à chaleur avec PAC) :</p>																																																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2"><i>En plein air</i></th> <th colspan="2"><i>Dans le bâtiment, local avec façade extérieure</i></th> <th colspan="2"><i>Dans le bâtiment, local intérieur</i></th> </tr> <tr> <th>IF</th> <th>PAC</th> <th>IF</th> <th>PAC</th> <th>IF</th> <th>PAC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gaz</td> <td>20 %</td> <td>40 %</td> <td>20 %</td> <td>40 %</td> <td>20 %</td> <td>40 %</td> </tr> <tr> <td>Aérosol</td> <td>80 %</td> <td>60 %</td> <td>40 %</td> <td>60 %</td> <td>40 %</td> <td>60 %</td> </tr> <tr> <td>Flaque</td> <td>0 %</td> <td>0 %</td> <td>40 %</td> <td>0 %</td> <td>40 %</td> <td>0 %</td> </tr> <tr> <td>Nuage³⁹</td> <td>100 %</td> <td>100 %</td> <td>60 %</td> <td>100 %</td> <td>20 %</td> <td>40 %</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(gaz + aérosol)</td> <td>(gaz + aérosol)</td> <td>(gaz + aérosol)</td> <td>(gaz + aérosol)</td> <td>(gaz seulement)</td> <td>(gaz seulement)</td> </tr> <tr> <td>K_{Lieu}</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> <td>0.6</td> <td>1.0</td> <td>0.2</td> <td>0.4</td> </tr> </tbody> </table>		<i>En plein air</i>		<i>Dans le bâtiment, local avec façade extérieure</i>		<i>Dans le bâtiment, local intérieur</i>		IF	PAC	IF	PAC	IF	PAC	Gaz	20 %	40 %	20 %	40 %	20 %	40 %	Aérosol	80 %	60 %	40 %	60 %	40 %	60 %	Flaque	0 %	0 %	40 %	0 %	40 %	0 %	Nuage³⁹	100 %	100 %	60 %	100 %	20 %	40 %		(gaz + aérosol)	(gaz + aérosol)	(gaz + aérosol)	(gaz + aérosol)	(gaz seulement)	(gaz seulement)	K_{Lieu}	1.0	1.0	0.6	1.0	0.2	0.4
	<i>En plein air</i>		<i>Dans le bâtiment, local avec façade extérieure</i>		<i>Dans le bâtiment, local intérieur</i>																																																			
	IF	PAC	IF	PAC	IF	PAC																																																		
Gaz	20 %	40 %	20 %	40 %	20 %	40 %																																																		
Aérosol	80 %	60 %	40 %	60 %	40 %	60 %																																																		
Flaque	0 %	0 %	40 %	0 %	40 %	0 %																																																		
Nuage³⁹	100 %	100 %	60 %	100 %	20 %	40 %																																																		
	(gaz + aérosol)	(gaz + aérosol)	(gaz + aérosol)	(gaz + aérosol)	(gaz seulement)	(gaz seulement)																																																		
K_{Lieu}	1.0	1.0	0.6	1.0	0.2	0.4																																																		
	<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. 17], et que seule une partie parvient à l'extérieur en cas de libération à l'intérieur du bâtiment.</p>																																																							
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 (voir [Lit. 24]) 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>																																																							

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.

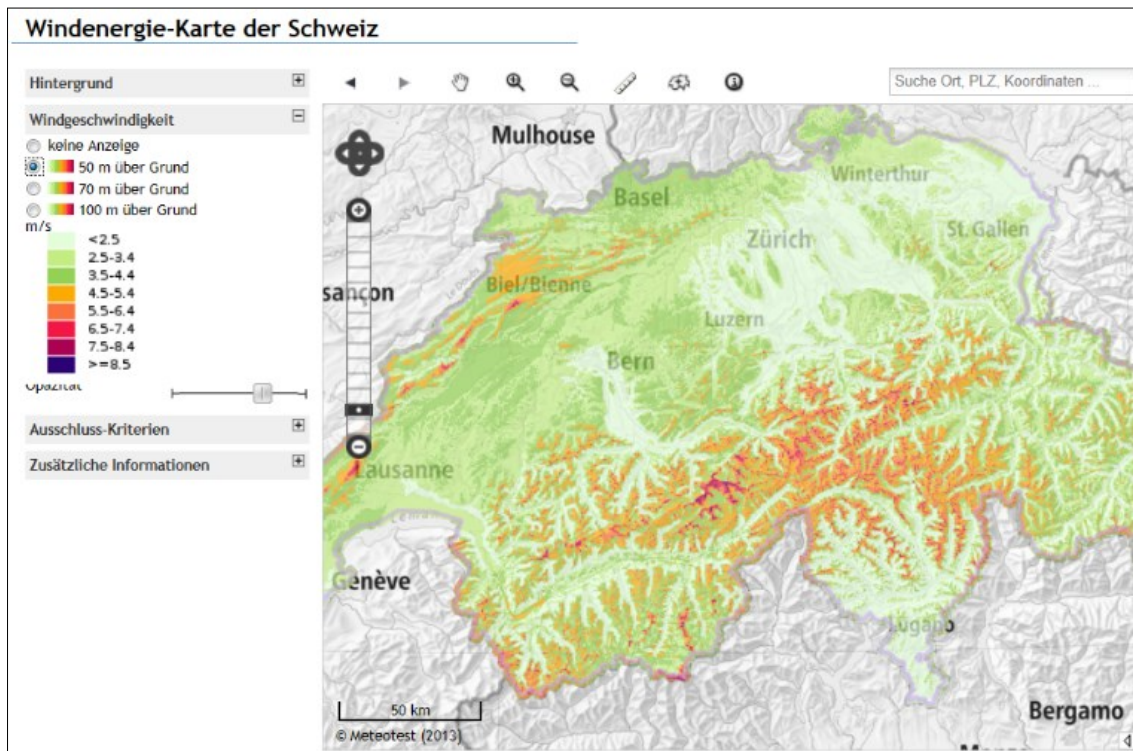
[Retour à la table des matières](#)

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 météorologique	<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 Figure 24.</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 24), il est indiqué de partir d'une vitesse moyenne du vent de 2 m/s.</p>
Humidité de l'air	<p>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'influe que faiblement sur les rayons de létalité selon Effects.</p>
Rugosité de surface	<p>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).</p>
Hauteur de la mesure exposition de personnes	<p>On pose une hauteur de 1,50 m.</p> <p>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.</p>
Durée d'exposition	<p>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.</p>

[Retour à la table des matières](#)

Figure 24 : Vitesse moyenne du vent en Suisse.

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



A3.2 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 », 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 Figure 25 à Figure 31. 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. 24])

Légende des couleurs	Létalité à la limite extérieure (en %)
<i>Couleur</i>	
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. 24]). 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.

[Retour à la table des matières](#)

Figure 25 : Propagation du nuage toxique en cas de libération continue de 6 kg/s d'ammoniac

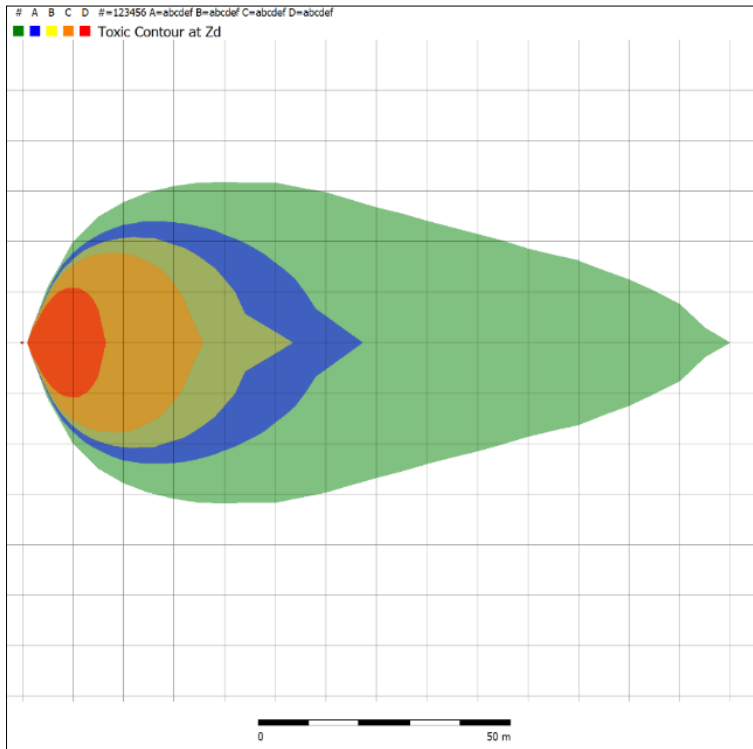
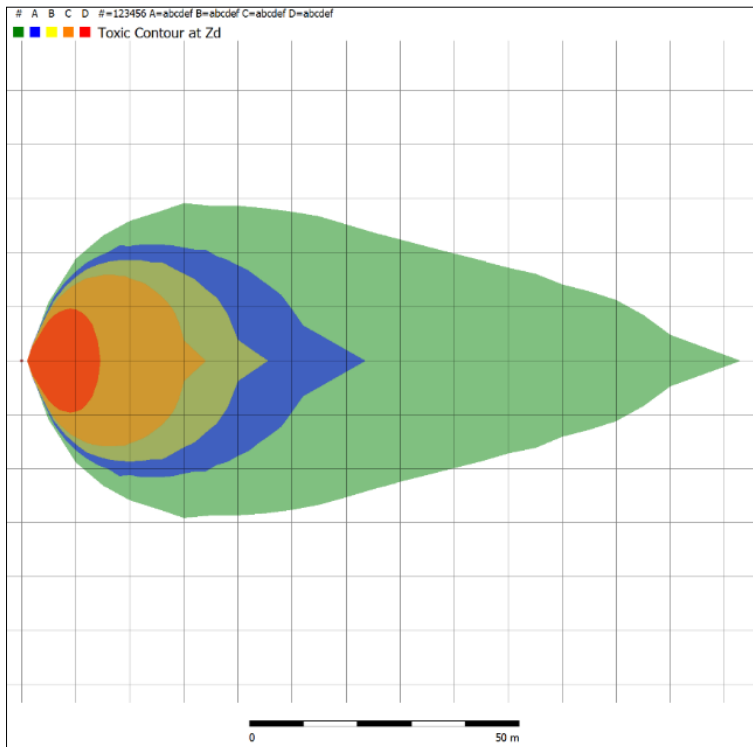
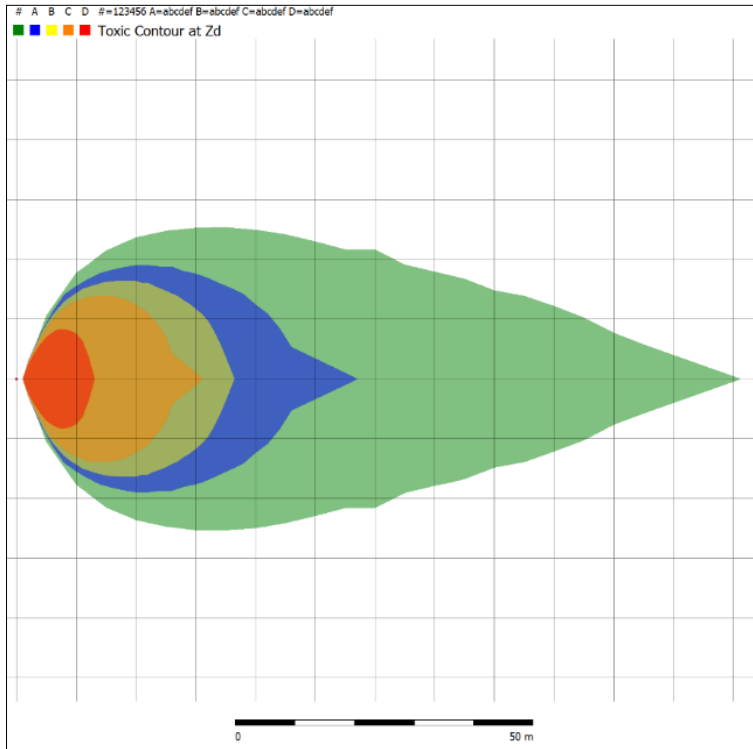
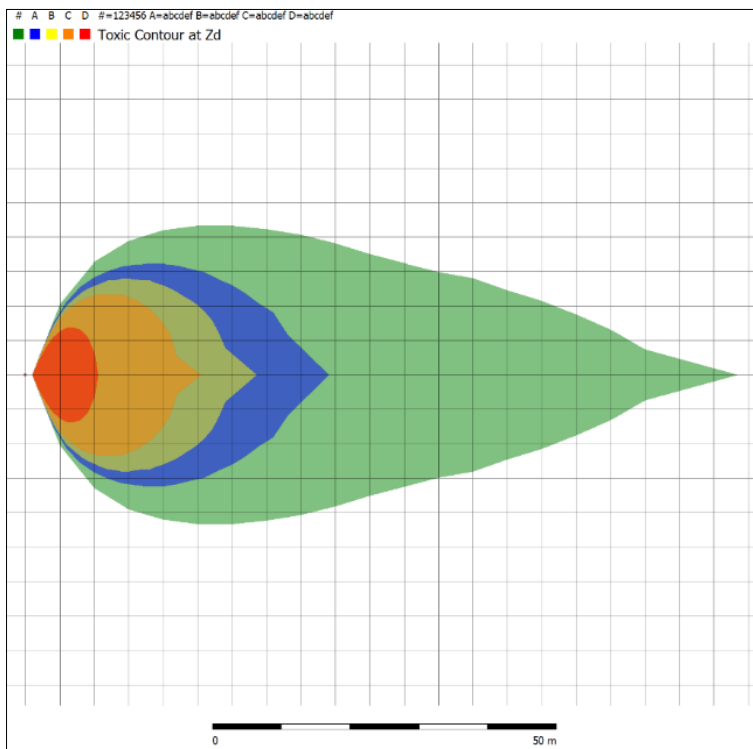
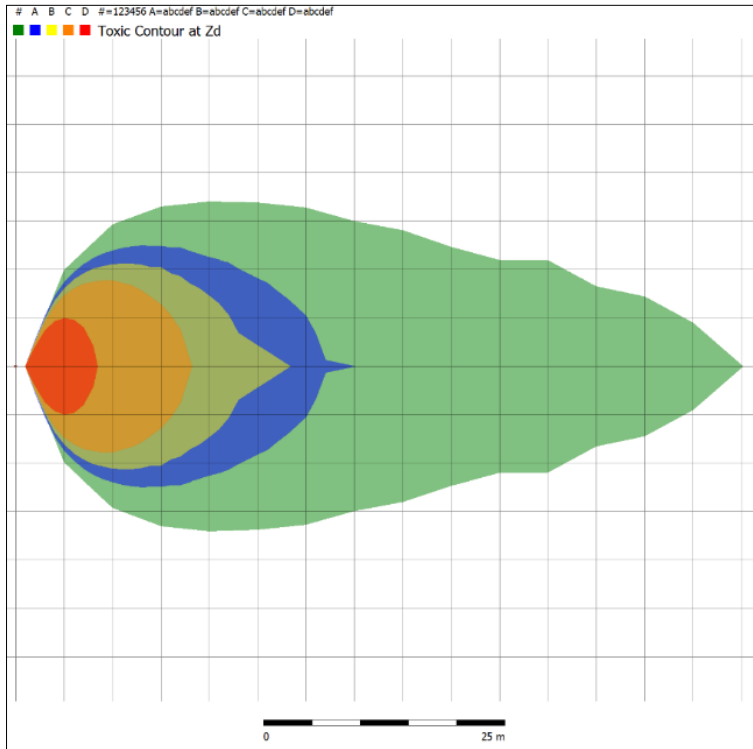
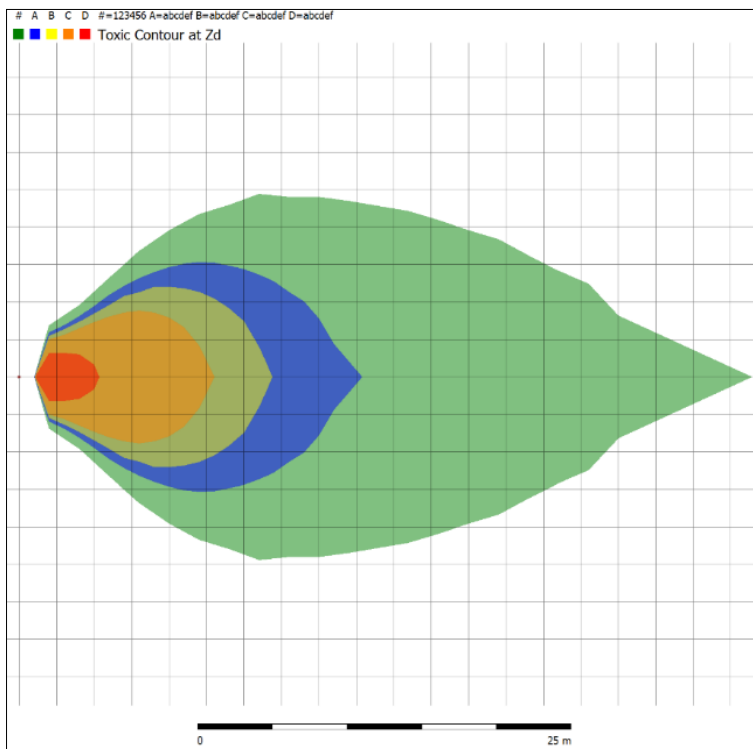


Figure 26 : Propagation du nuage toxique en cas de libération continue de 5 kg/s d'ammoniac

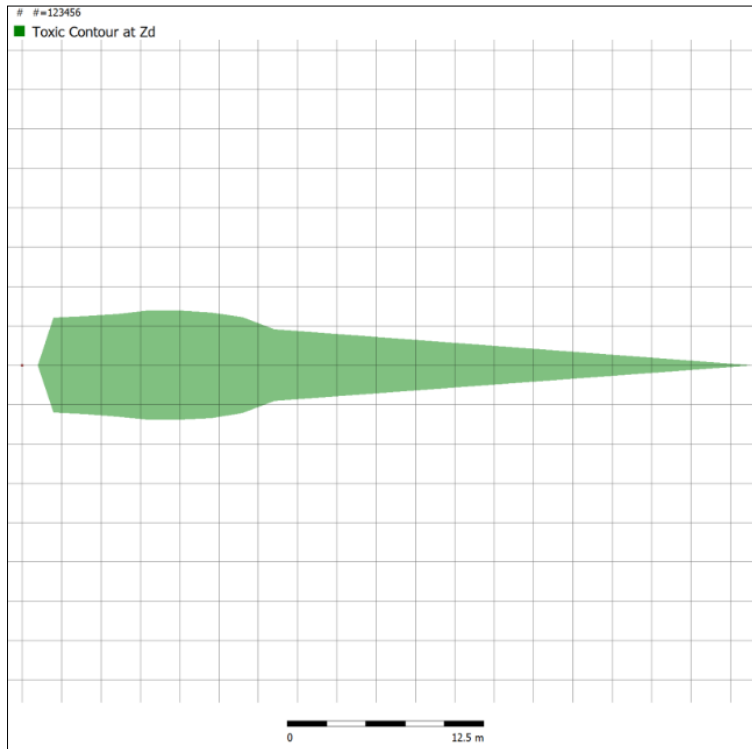


[Retour à la table des matières](#)**Figure 27 : Propagation du nuage toxique en cas de libération continue de 4 kg/s d'ammoniac****Figure 28 : Propagation du nuage toxique en cas de libération continue de 3 kg/s d'ammoniac**

[Retour à la table des matières](#)**Figure 29 : Propagation du nuage toxique en cas de libération continue de 2 kg/s d'ammoniac****Figure 30 : Propagation du nuage toxique en cas de libération continue de 1 kg/s d'ammoniac**

[Retour à la table des matières](#)

Figure 31 : Propagation du nuage toxique en cas de libération continue de 0,5 kg/s d'ammoniac

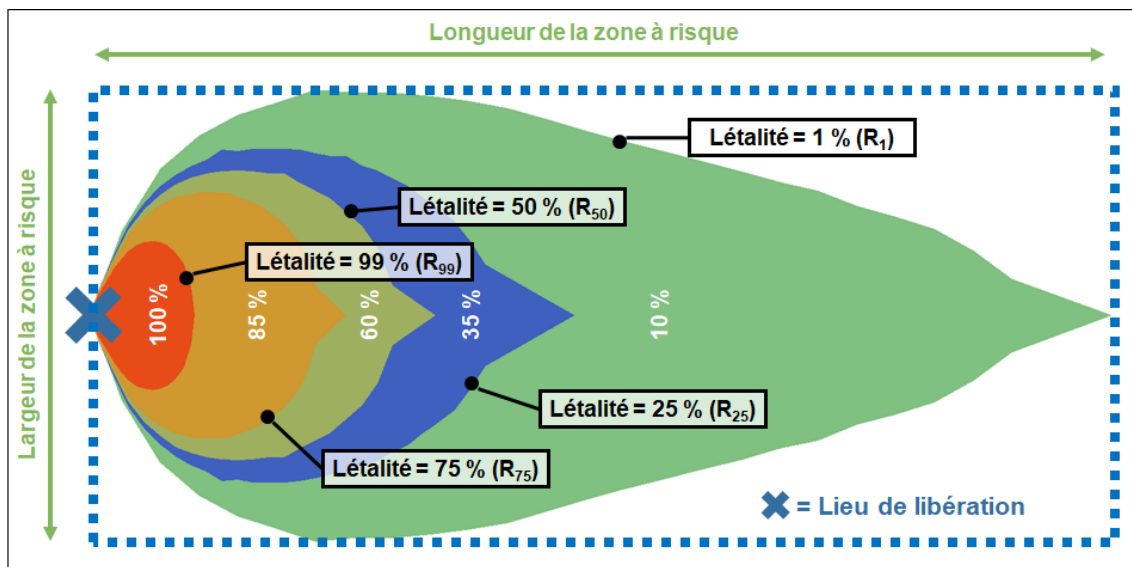


Détermination de la zone à risque simplifiée

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.). Figure 32 l'illustre cette simplification.

[Retour à la table des matières](#)

Figure 32 : 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 zones à risque 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. 24]) : Létalité \geq 1 %. Les chiffres reposent sur l'hypothèse d'une durée de libération de von 300 s.

Zone à risque

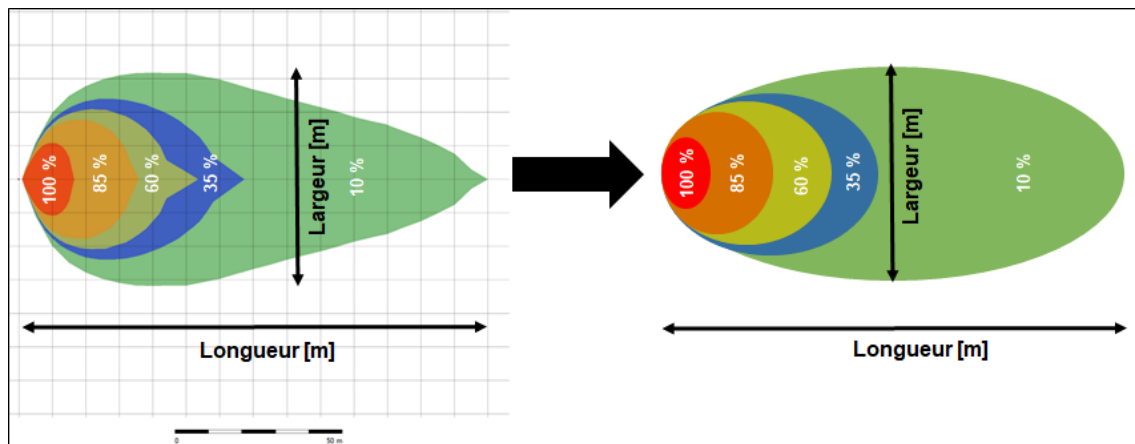
Taux de libération	0.5 kg/s	1 kg/s	2 kg/s	3 kg/s	4 kg/s	5 kg/s	6 kg/s
Longueur [m]	45	48	75	100	120	130	140
Largeur [m]	10	25	35	50	50	60	60

A3.3 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

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 33 : 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.

La démarche suivante a été choisie :

- Calcul des rayons de létalité 1 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 % et 99 % pour des taux de libération de 1 à 6 kg/s (voir exemples de Figure 34) ;
- Calcul des ellipses à partir des longueurs et largeurs des différents périmètres de létalité ;
- Fixation des létalités moyennes pour les périmètres de létalité :

▪ 1 à 10 % : 5 %	▪ 60 à 70 % : 65 %
▪ 10 à 20 % : 15 %	▪ 70 à 80 % : 75 %
▪ 20 à 30 % : 25 %	▪ 80 à 90 % : 85 %
▪ 30 à 40 % : 35 %	▪ 90 à 99 % : 97 %
▪ 40 à 50 % : 45 %	▪ 99 à 100 % : 100 %
▪ 50 à 60 % : 55 %	

[Retour à la table des matières](#)

- Calcul de la létalité moyenne en découlant pour l'ensemble de la zone à risque, en partant des létalités moyennes par périmètre de létalité, pondérées par les surfaces partielles (voir l'exemple de la Figure 35) ;

Figure 34 : Extrait des calculs pour les périmètres de létalité pour déterminer la létalité moyenne

Model: Dense Gas Dispersion: Toxic			
version: 5.13 (21.03.2023)			
Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990			
Parameters	1 kgs-1 / 01%	1 kgs-1 / 10%	1 kgs-1 / 20%
Inputs	AMMONIA (YAWS)	AMMONIA (YAWS)	AMMONIA (YAWS)
Chemical name (YAWS)	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release	Horizontal Jet release
Type of release			
Total mass released (kg)			
Mass flow rate of the source (kg/s)	1	1	1
Duration of the release (s)	300	300	300
Initial liquid mass fraction (%)	80	80	80
Fixed pool surface (m2)			
Diameter of expanded jet (m)	1	1	1
Temperature after release (°C)	-33	-33	-33
X-coordinate of release (m)	0	0	0
Y-coordinate of release (m)	0	0	0
Z-coordinate (height) of release (m)	0	0	0
Ambient temperature (°C)	20	20	20
Meteorological data	Pasquill	Pasquill	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)	D (Neutral)	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	2	2	2
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)			
Ambient relative humidity (%)	70	70	70
Roughness length description	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).	Regular large obstacle coverage (suburb or forest).
Concentration averaging time (s)	300	300	300
Distance from release (Xd) (m)	1000	1000	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0	0	0
Height (Zd) (m)	1.5	1.5	1.5
Start of exposure (after moment of release) (s)	0	0	0
Exposure duration (s)	1800	1800	1800
Contour plot accuracy (%)	0.1	0.1	0.1
Calculate toxic contour by	Fraction of mortality	Fraction of mortality	Fraction of mortality
Threshold fraction of mortality F (%)	1	10	20
Threshold toxic dose D (s*(kg/m3)^n)			
Predefined wind direction	User defined	User defined	User defined
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	270	270	270
Results	1 kgs-1 / 01%	1 kgs-1 / 10%	1 kgs-1 / 20%
Dose at (Xd, Yd, Zd) (min*(mg/m3)^n)	9057.9	9057.9	9057.9
Fraction of mortality at (Xd, Yd, Zd) (%)	0	0	0
Distance to toxic dose D or fraction of mortality F (m)	48.91	27.697	24.502
Length of toxic contour (m)	47.903	26.677	23.478
Width of toxic contour (m)	23.944	18.329	16.075
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0	0	0

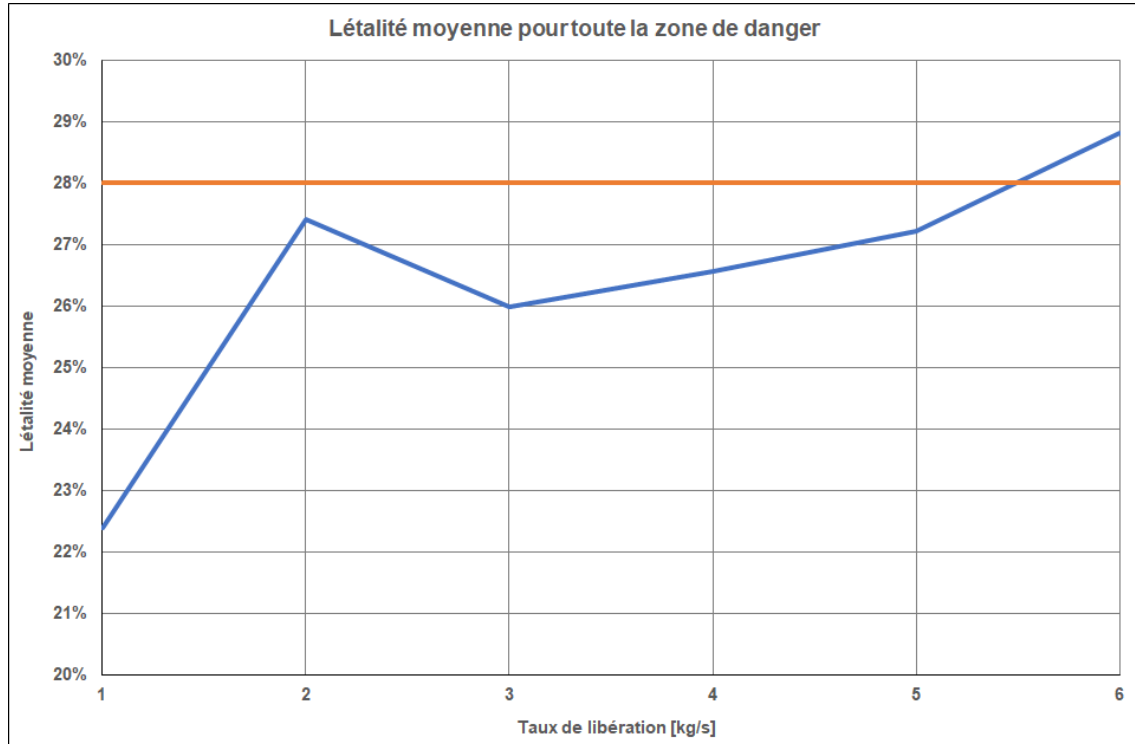
Figure 35 : Calcul de la létalité moyenne pour la totalité de la zone à risque, pour un taux de libération de 1 kg/s

1 kg/s											
Létalité	1%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	99%
Longueur [m]	48	27	23	20	17	16	14	13	11	9	4
Largeur [m]	24	18	16	14	13	12	11	9	8	6	3
Surface [m ²]	901	384	296	229	179	147	115	93	69	42	11
Surface' [m ²]	517	88	67	50	32	32	22	24	27	32	11
λ_m	5%	15%	25%	35%	45%	55%	65%	75%	85%	97%	100%
λ_{\emptyset}, 1 kg/s	22%										

[Retour à la table des matières](#)

Le résultat obtenu est une dispersion des létalités moyennes sur l'ensemble de la zone à risque de 22 à 29 % (voir Figure 36).

Figure 36 : Létalités moyennes pour l'ensemble de la zone à risque pour les différents taux de libération



Au vu de cette répartition, on a opté pour une valeur assez prudente de 28 %.

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.

A3.4 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 : 1'650 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 – CO₂)
- 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 37. On obtient un taux de libération maximal pour cette installation de 3,0 kg/s.

Figure 37 : Procédure pour déterminer le taux de libération maximal dans notre exemple (schématisation)

Ammoniac au total		1'650 kg	
Distribution dans l'installation (Type 5)	Évaporateur	Séparateur	Condenseur
Données du projet	n.A.	84 %	16 %
(selon tableau 1, chapitre 2.2)		40 % (25 % + 15 %)	60 %
Lieu de libération	n. a.	Adjacent à une façade	en plein air
Part de gaz et d'aérosols	---	0.6	1.0
Durée de la vidange	5 min	5 min	5 min
Taux de libération	---	2.8 kg/s	0.9 kg/s
	---	(environ 3.0 kg/s)	(environ 1.0 kg/s)

[Retour à la table des matières](#)

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 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.

Tableau 12 : Détermination de la zone à risque et du nombre maximum de personnes, sur la base du taux de libération maximal selon le Tableau 4.

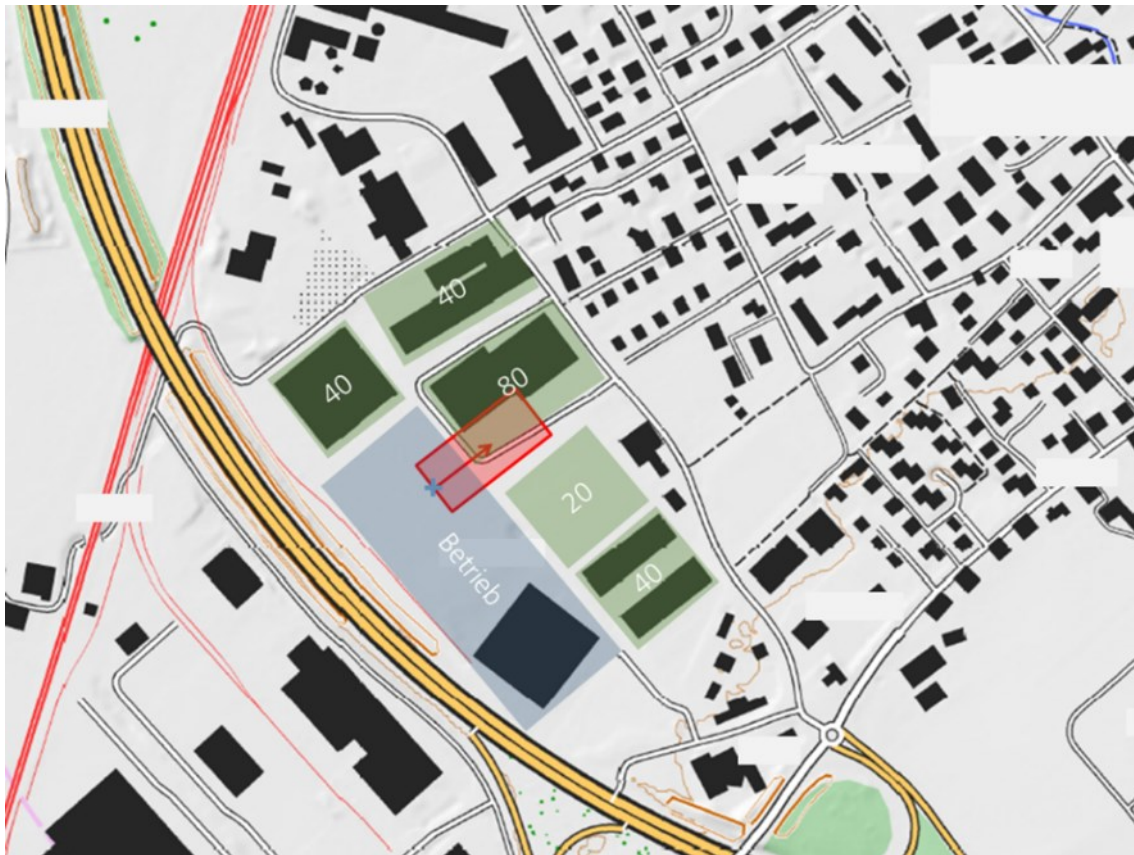
Valeur limite		Valeur limite pour le nombre de personnes P_{Ref} dans la zone à risque	
Nombre de personnes		Zone à risque	
Taux de libération [kg/s]	Longueur [m]	Largeur [m]	
6	140	60	35 personnes en plein air
5	130	60	
4	120	50	
3	100	50	
2	75	35	
1	48	25	
0.5	45	10	100 personnes en plein air

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.

[Retour à la table des matières](#)

Figure 38 : 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 40 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 39 : 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])

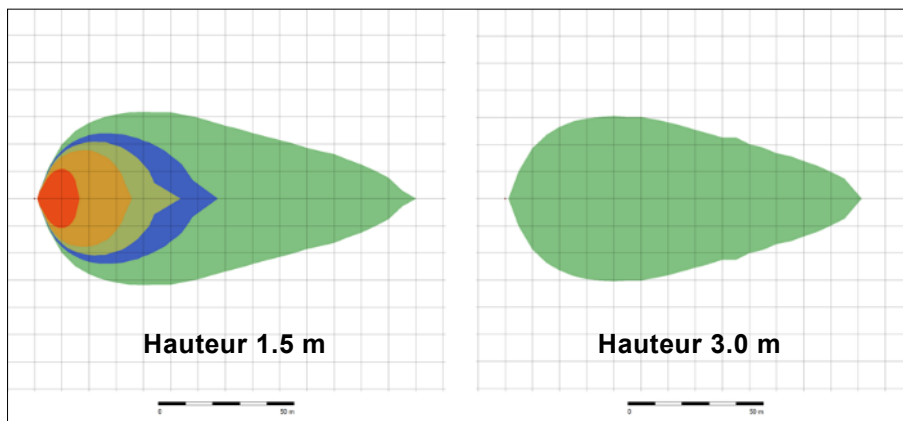
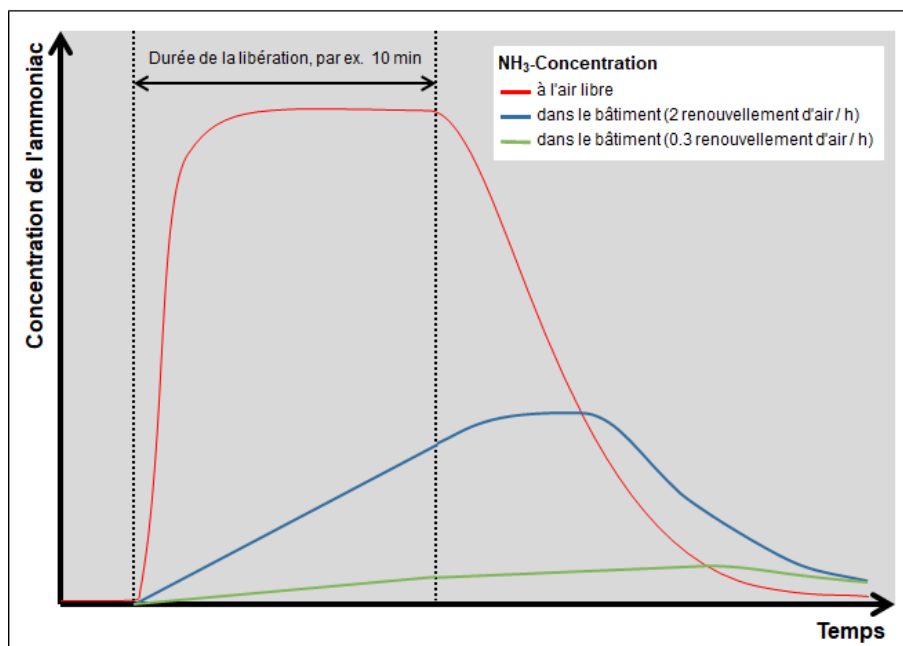


Figure 40 : Représentation schématique de la relation entre l'évolution de la concentration d'ammoniac en plein air et à l'intérieur du bâtiment ainsi qu'en rapport avec le taux de renouvellement d'air



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)	Pratiquement aucun renouvellement d'air
	Env. 0,3 renouvellement d'air par heure (vieux bâtiment)	
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.

[Retour à la table des matières](#)

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 R₉₉	Entre R₅₀ – R₉₉	Entre R₁ – R₅₀
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	1'525 mg/m ³	825 mg/m ³	320 mg/m ³
Létalité moyenne dans le bâtiment	0 %	0 %	0 %
Protection par le bâtiment ⁴² 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 %⁴³	
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 bâtiment ⁴² Industrie		85 %⁴³	

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 0,7.

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.

A5.1 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 » (voir [Lit. 24]). 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	Explication			
Quantité libérée/ taux de libération	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. 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.			
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 (voir [Lit. 17]) avec des quantités d'ammoniac libérées de 1 400 à 3 500 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 »			
	<i>Lieu de libération</i>	<i>En plein air</i>	<i>Dans le bâtiment local avec façade extérieure</i>	<i>Dans le bâtiment local intérieur</i>
	Chemin vers l'extérieur		par un orifice dans la façade	par l'aération sur le toit
	Modèle de propagation	Gaz lourd	Gaz lourd	Gaz neutre

[Retour à la table des matières](#)

Paramètres généraux	Explication
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 (Figure 41). 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'influeait que faiblement sur les résultats de la modélisation de la propagation et sur les rayons de létalité en découlant.

[Retour à la table des matières](#)

Figure 41 : Vitesse moyenne du vent en Suisse.

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

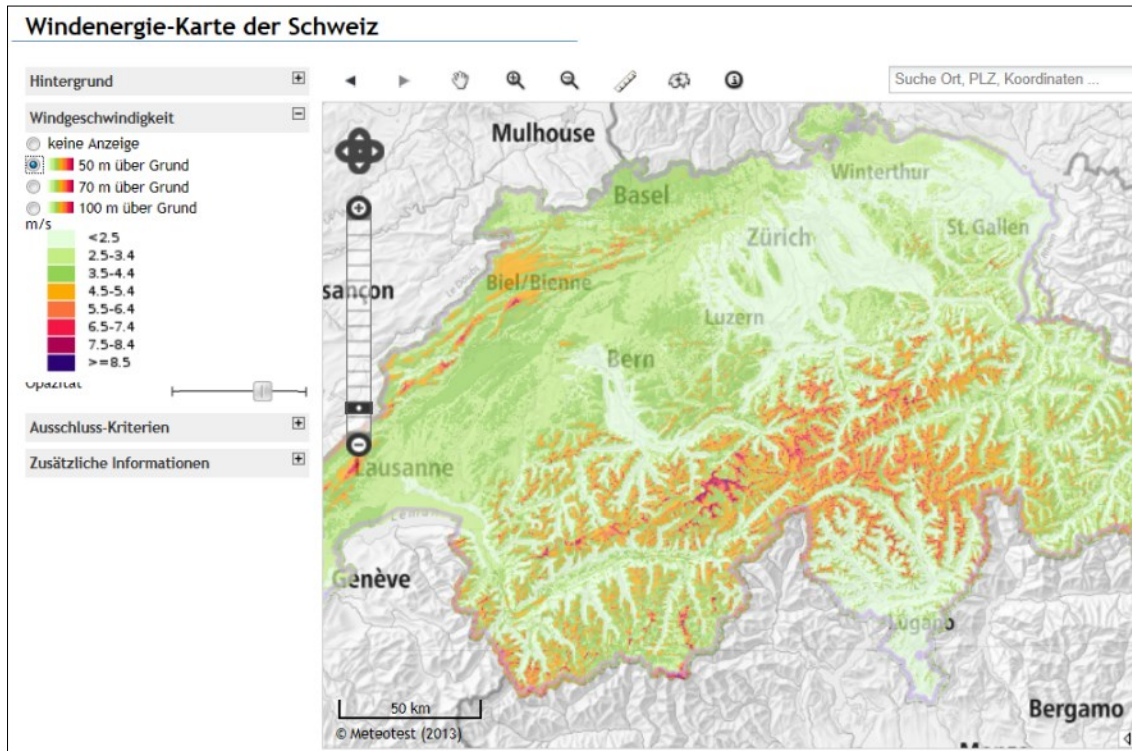


Tableau 16 : Paramètres pour les calculs de propagation en cas de libération avec terme source continu (niveau rapport succinct)

Libération continue	Explication
<i>Paramètre</i>	
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	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. 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.

[Retour à la table des matières](#)

Libération continue Explication

Paramètre

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 continue 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	
	KA	PAC	KA	PAC	KA	PAC	KA	PAC
Chemin vers l'extérieur			par orifice dans la façade (exception)		par aération sur le toit (règle générale)		par aération sur le toit	
Terme source	continue		continue		continue		continue	
Gaz	20 %	40 %	20 %	40 %	20 %	40 %	20 %	40 %
Aérosol	80 %	60 %	40 %	60 %	40 %	60 %	40 %	60 %
Flaque	0 %	0 %	40 %	0 %	40 %	0 %	40 %	0 %
Nuage ⁴⁴	100 %	100 %	60 %	100 %	20 %	40 %	20 %	40 %
	(gaz + aérosol)		(gaz + aérosol)		(gaz seulement)		(gaz seulement)	
K_{Lieu}	1.0	1.0	0.6	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4

Exemple : une installation contient 5 000 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 1 000 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 (voir [Lit. 17]) 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	
	KA	PAC	KA	PAC	KA	PAC
Chemin vers l'extérieur			par orifice dans la façade (exception)		par aération sur le toit (règle générale)	
Modèle de propagation	Gaz lourd		Gaz lourd		Gaz neutre	
Aérosol dans le nuage	80 % ⁴⁶	60 %	67 % ⁴⁷	60 %	0 %	0 %

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.

⁴⁵ Cette affirmation est vraie à condition que la surface de la flaque soit limitée (règles de la technique selon SN EN 378-3 (voir [Lit. 10], chapitre 5.14.3.1)

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. 15], « 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. 15], « faible libération continue en plein air »). Les 40 % restants forment une flaque. La part d'aérosol dans le nuage comporte donc 67 %.

[Retour à la table des matières](#)

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	Explication
<i>Paramètre</i>	
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	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 3.2.1). 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.
Terme source spontanée / 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 spontanée
Séparateur situé dans un local ayant une paroi extérieure <i>(avec des ouvertures donnant directement sur l'extérieur ou, pour les installations sportives, sur l'espace public)⁴⁸</i>	Terme source spontanée 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 <i>(aucune ouverture qui mènerait rapidement vers l'extérieur)</i>	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.

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.

[Retour à la table des matières](#)

Libération spontanée Explication

Paramètre

Facteur de correction K_{Lieu} Lors de la libération d'ammoniac liquéfié sous pression, on observe trois K_{Lieu} 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. 15] 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
		par orifice dans la façade (règle générale)	par l'aération sur le toit (exception)	par l'aération sur le toit
Chemin vers l'extérieur				
Terme source	spontané	spontané	continue	continue
Gaz	20 %	20 %	20 %	20 %
Aérosol	20 %	20 %	20 %	20 %
Flaque	60 %	60 %	60 %	60 %
Nuage ⁴⁹	40 % (gaz + aérosol)	40 % (gaz + aérosol)	20 % (gaz seulement)	20 % (gaz seulement)
K_{Lieu}	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.

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 (voir [Lit. 17]) 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
		par orifice dans la façade (règle générale)	par l'aération sur le toit (exception)	par l'aération sur le toit
Chemin vers l'extérieur				
Part d'aérosol dans le nuage	50 % ⁵¹	50 % ⁵²	0 %	0 %

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. 15], p.3.

⁵⁰ Cette affirmation est vraie à condition que la surface de la flaque soit limitée (règles de la technique selon SN EN 378-3 (voir [Lit. 10], chapitre 5.14.3.1).

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. 15], « importante libération spontanée en plein air »)

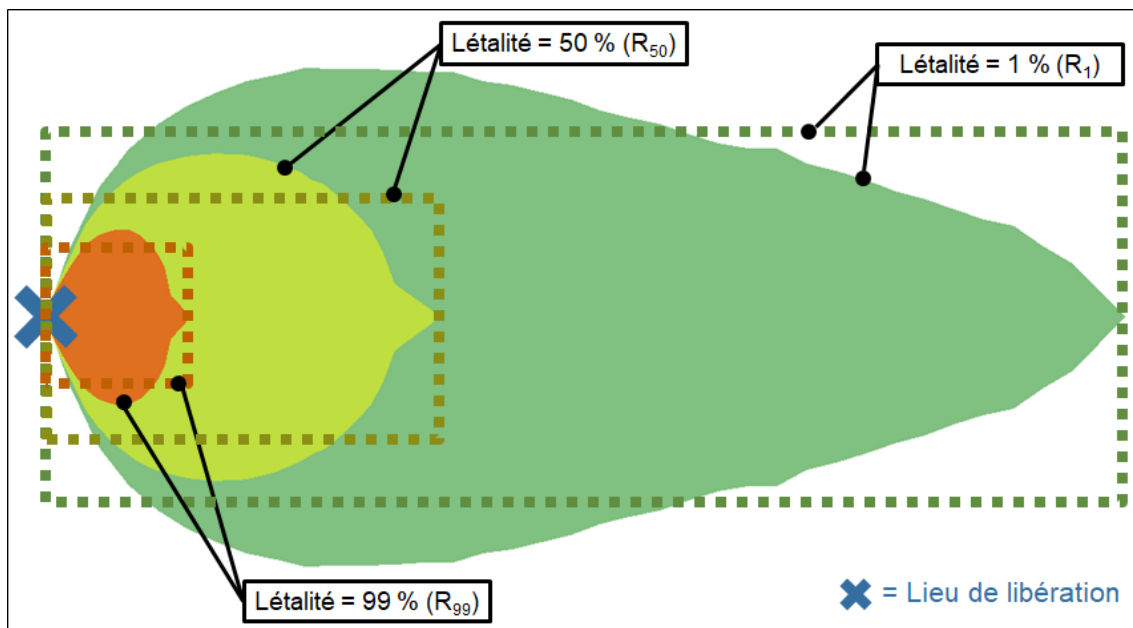
⁵² Les libérations spontanées du séparateur ne peuvent être que la conséquence de rares impacts très violents. Il faut escompter que dans le cas d'un tel événement, l'enveloppe du bâtiment serait également gravement endommagée. Celle-ci ne pourrait alors plus retenir que partiellement le mélange gaz/aérosol.

A5.2 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 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 respectivement, dans leur partie marginale, une létalité de 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 42). 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.

Figure 42 : Les surfaces des zones à risque sont simplifiées en rectangles de même surface.



A5.3 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 GEXCON (voir [Lit. 24]) 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.

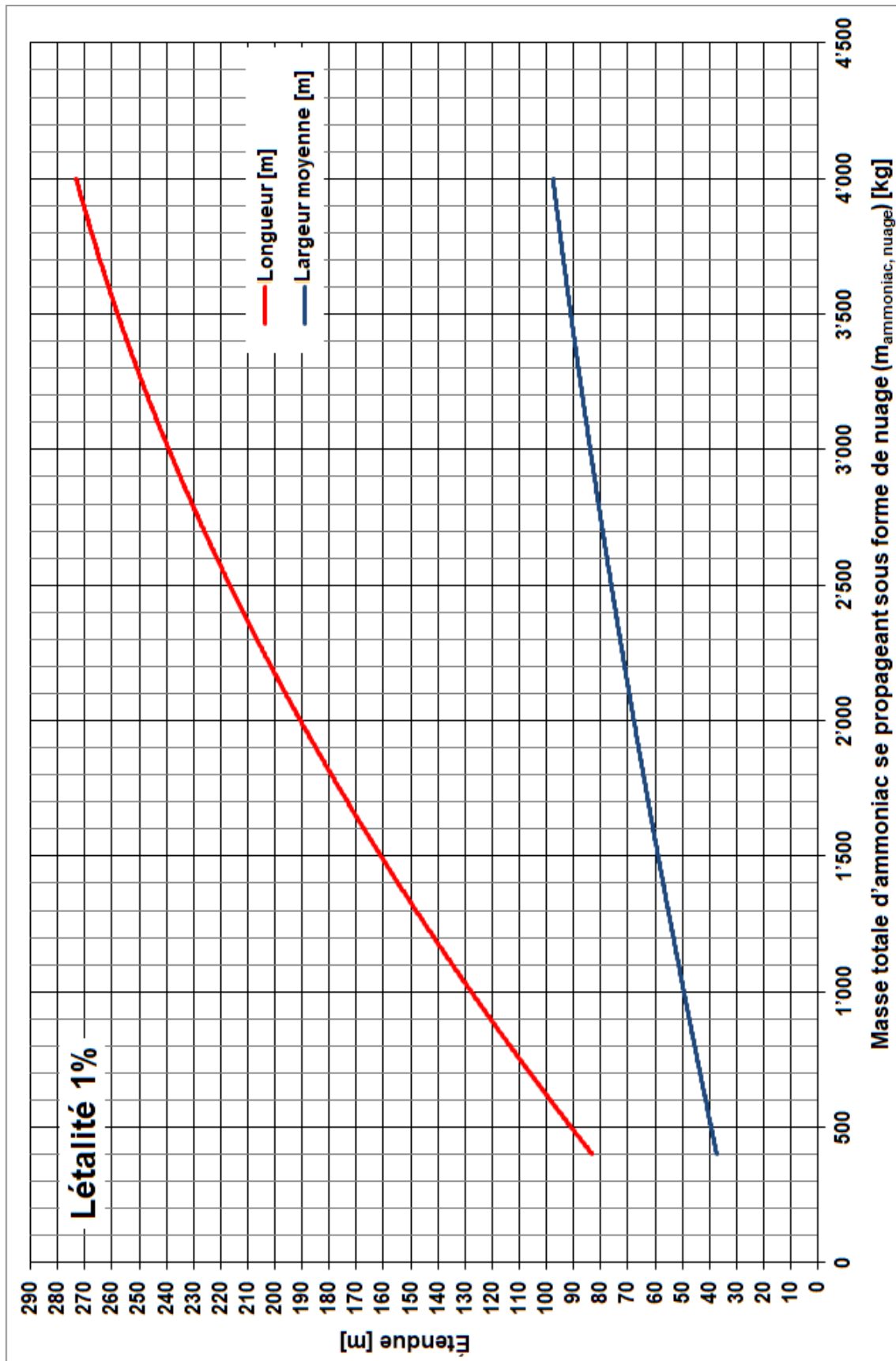
Zones à risque pour l'estimation de l'ampleur au niveau du rapport succinct

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

[Retour à la table des matières](#)

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

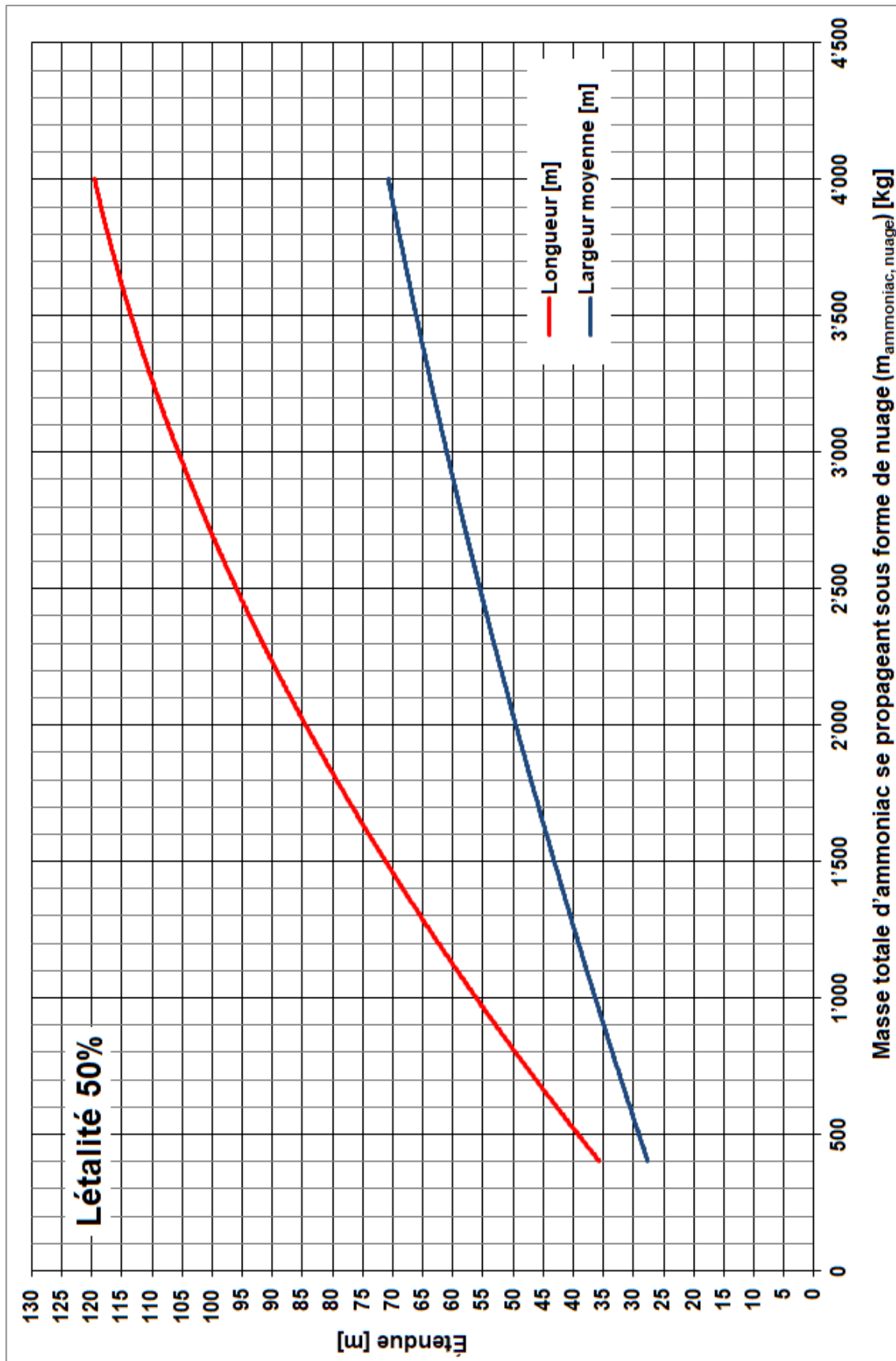
La longueur et la largeur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 1\%$ pour une libération avec terme source spontané ; part d'aérosol 50 %.



[Retour à la table des matières](#)

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

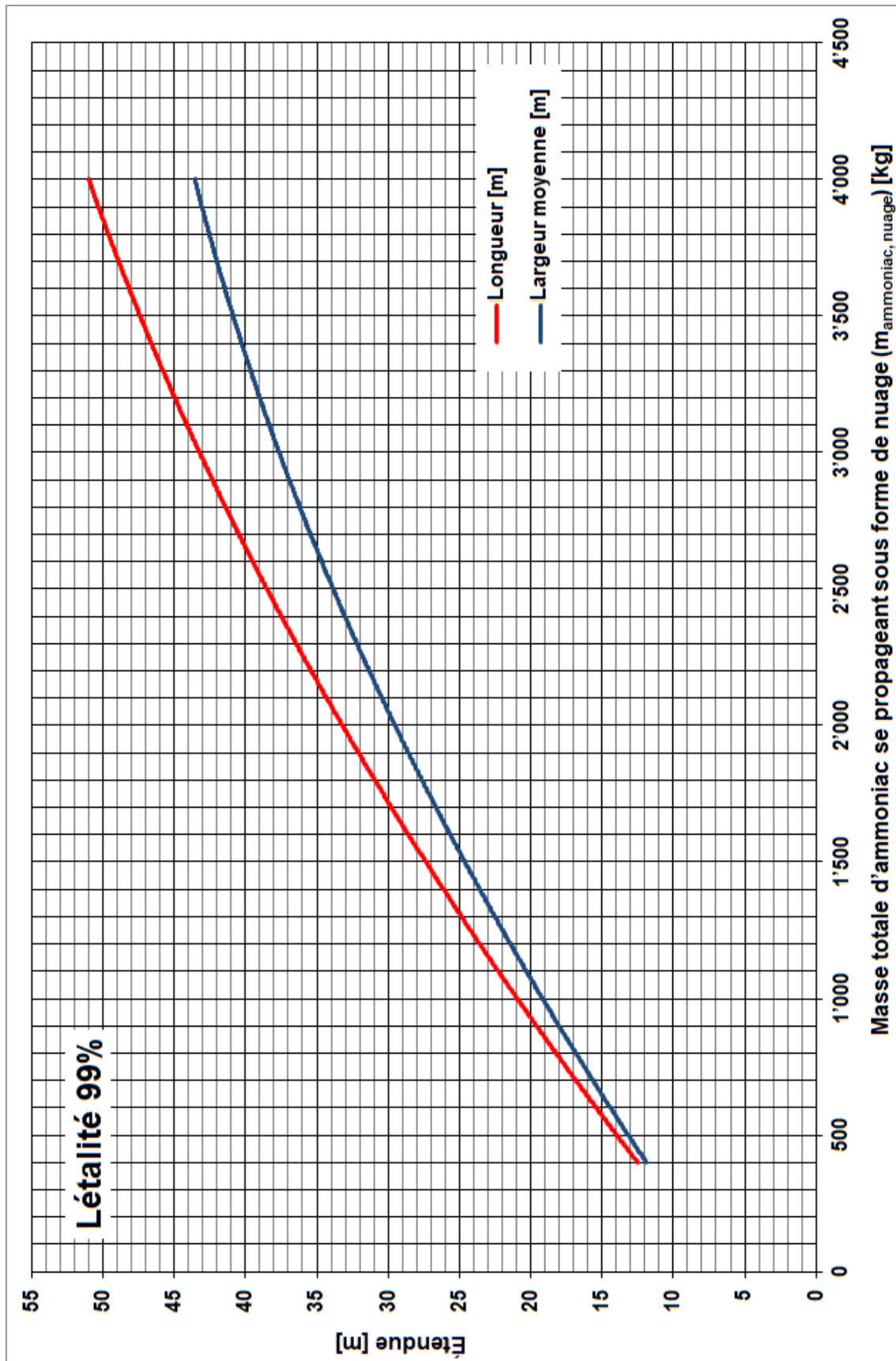
La longueur et la largeur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 50\%$ pour une libération avec terme source spontané ; part d'aérosol 50 %.



[Retour à la table des matières](#)

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

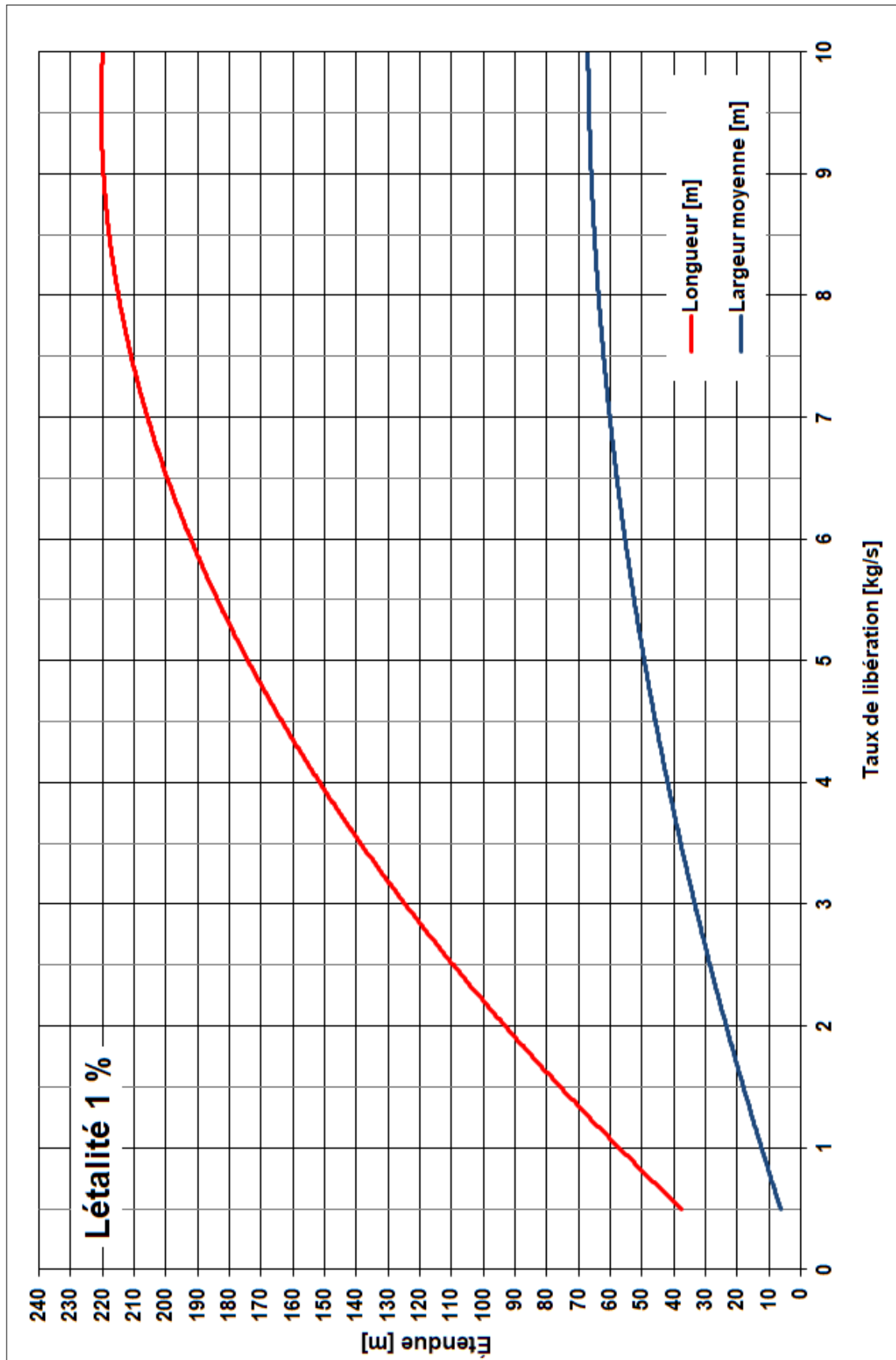
La longueur et la largeur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 99\%$ pour une libération avec terme source spontané ; part d'aérosol 50 %.



[Retour à la table des matières](#)

Figure 46 : Libération continue, modèle du gaz lourd : létalité 1 %

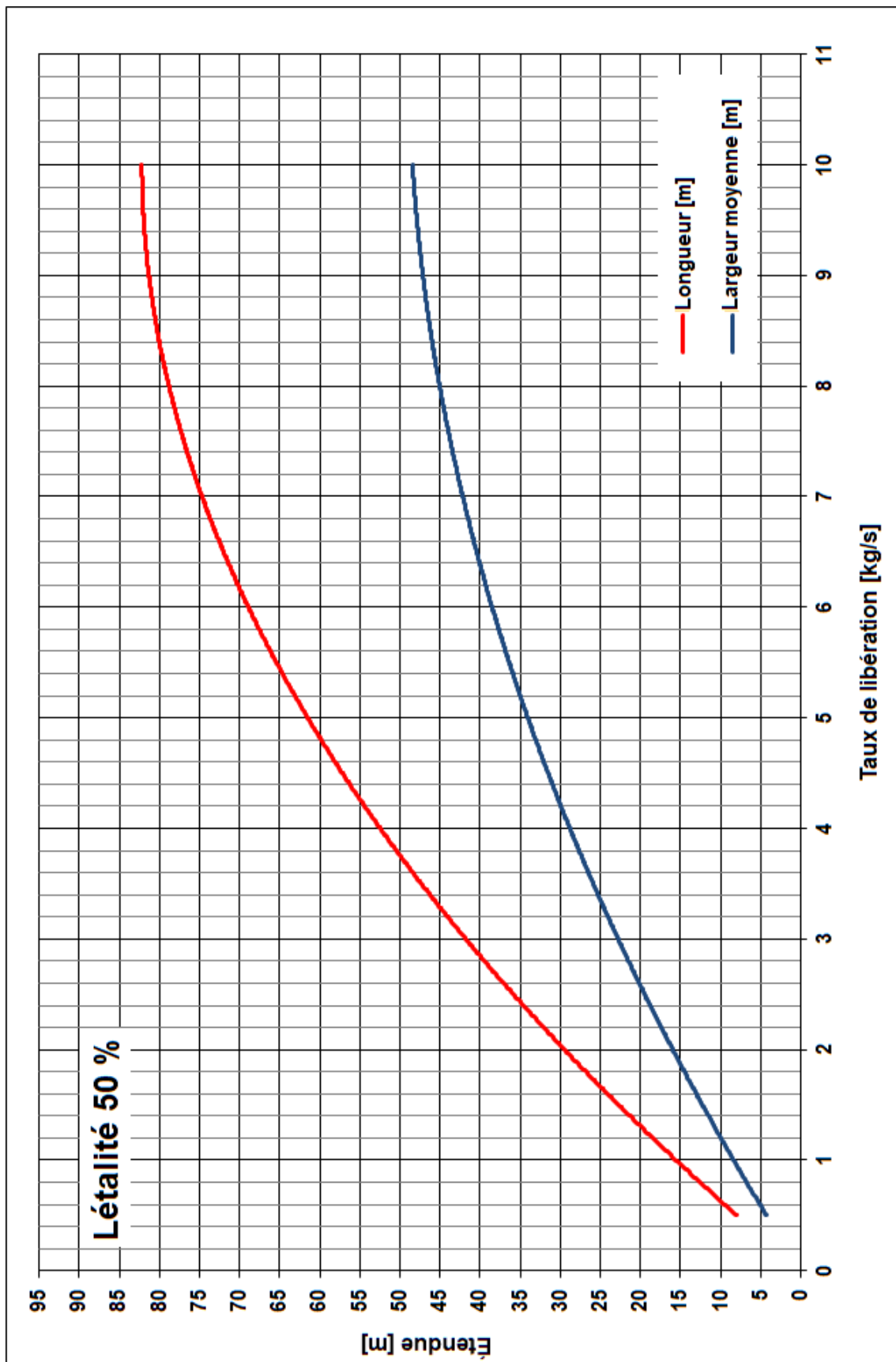
Libération à l'air libre, propagation sous forme de gaz lourd, part d'aérosol dans le nuage = 80 % La longueur et la largeur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 1\%$ pour une libération avec terme source continu ; part d'aérosol 80 %.



[Retour à la table des matières](#)

Figure 47 : Libération continue, modèle du gaz lourd : létalité 50 %

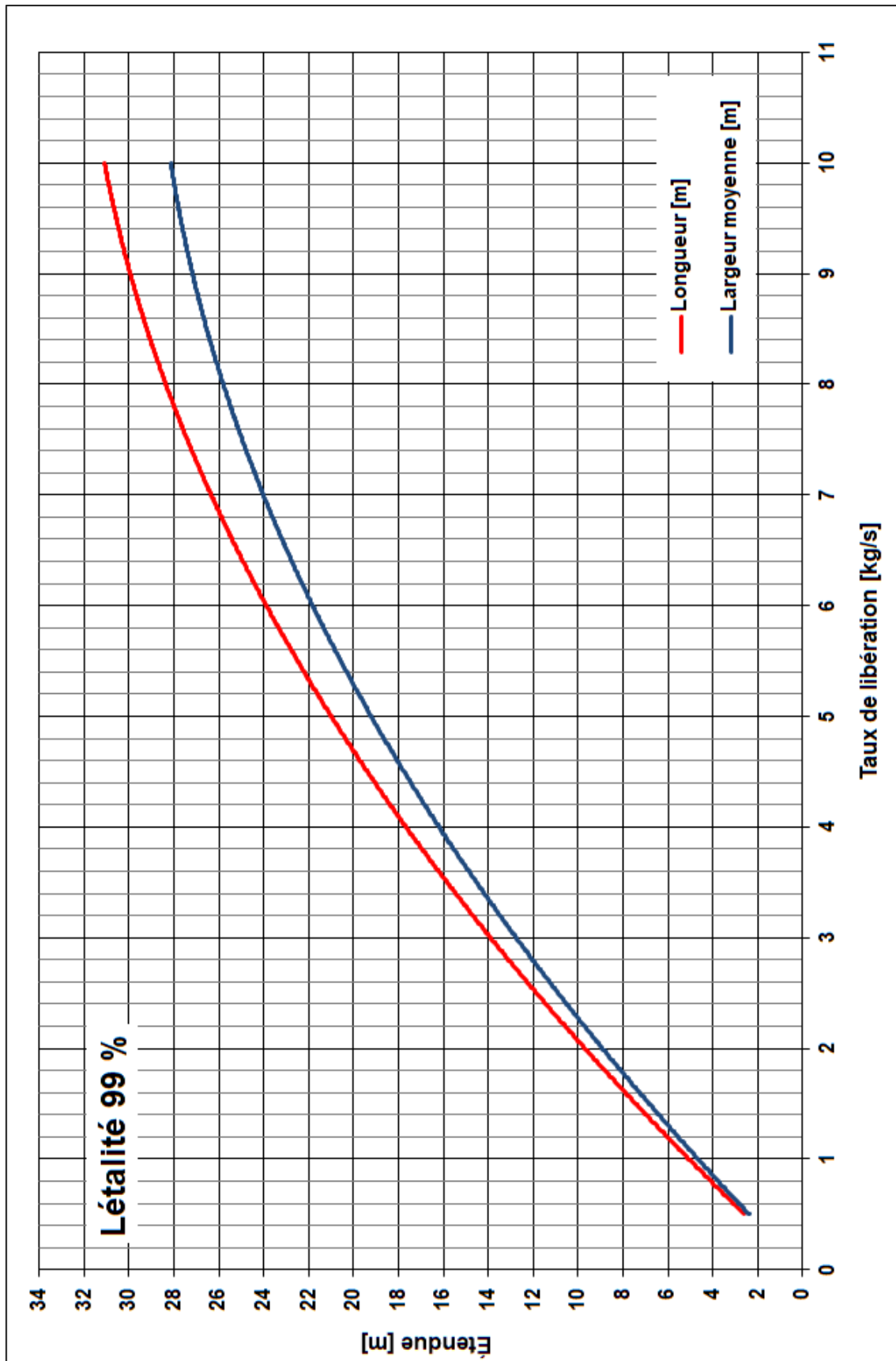
La longueur et la largeur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 50\%$ pour une libération avec terme source continu ; part d'aérosol 80 %.



[Retour à la table des matières](#)

Figure 48 : 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 %.



[Retour à la table des matières](#)

Libération continue, modèle du gaz

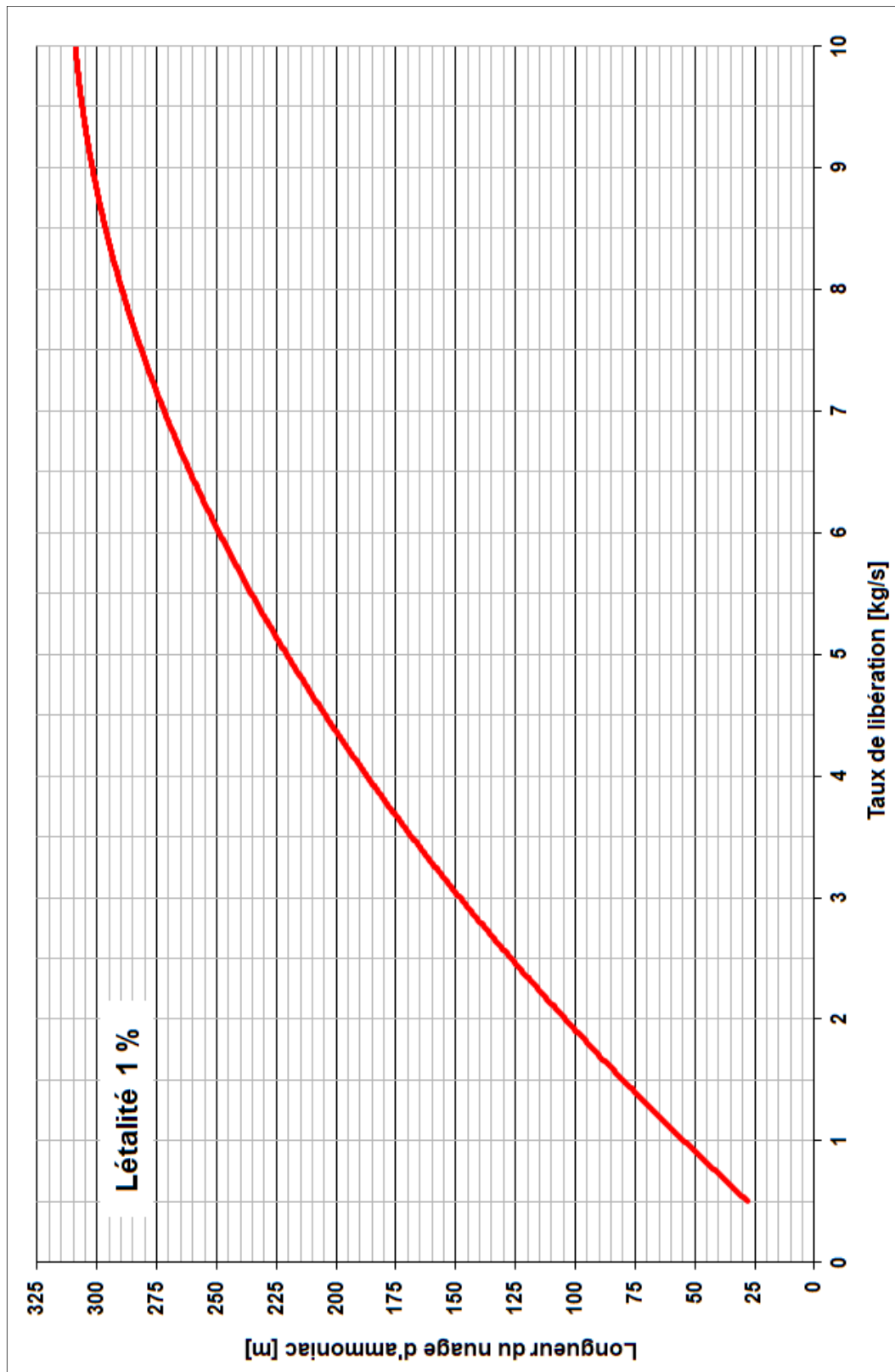
Libération par l'aération, propagation sous forme de gaz neutre.

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 le Figure 49 à Figure 54 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.

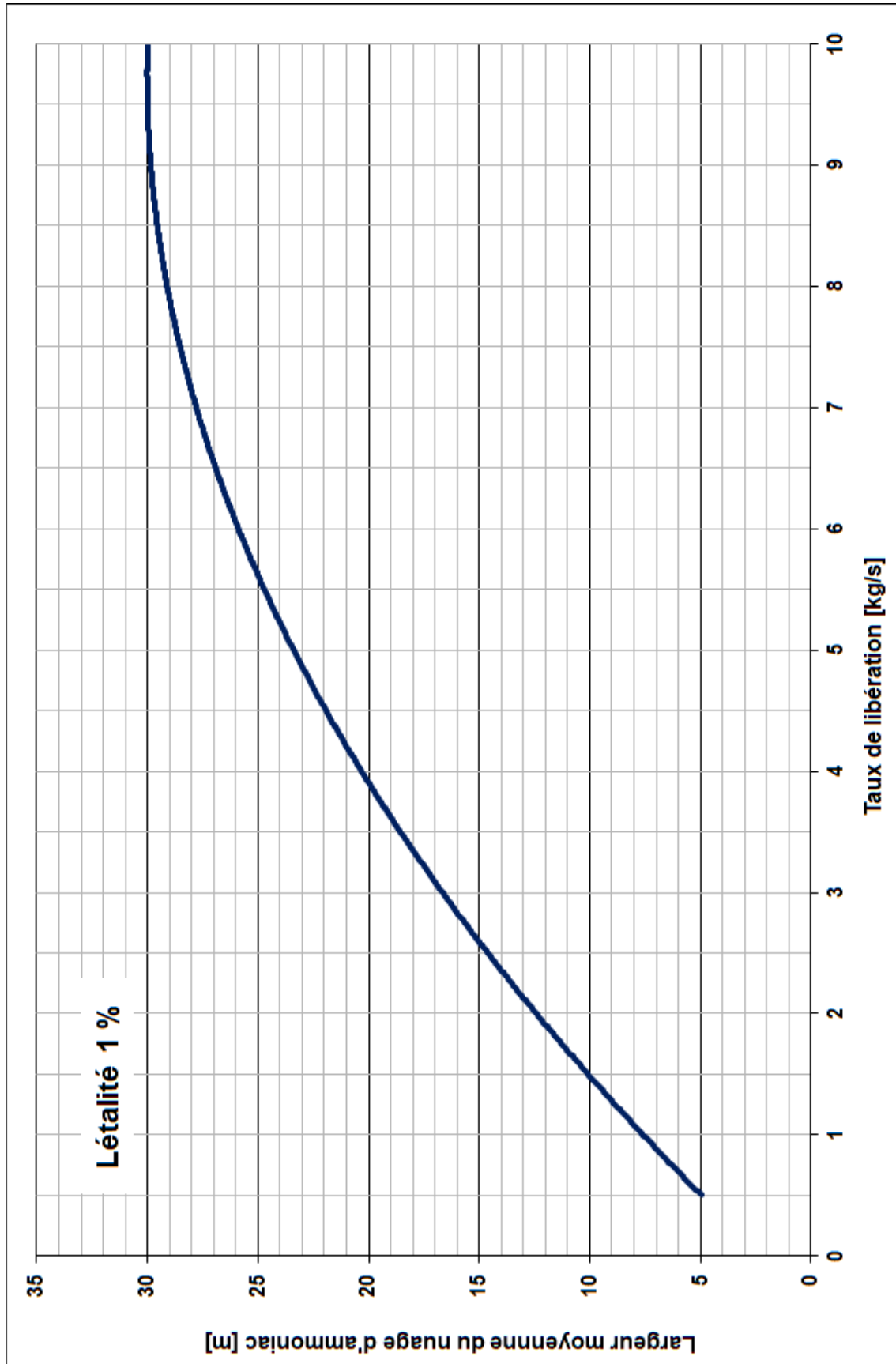
[Retour à la table des matières](#)

Figure 49 : 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.



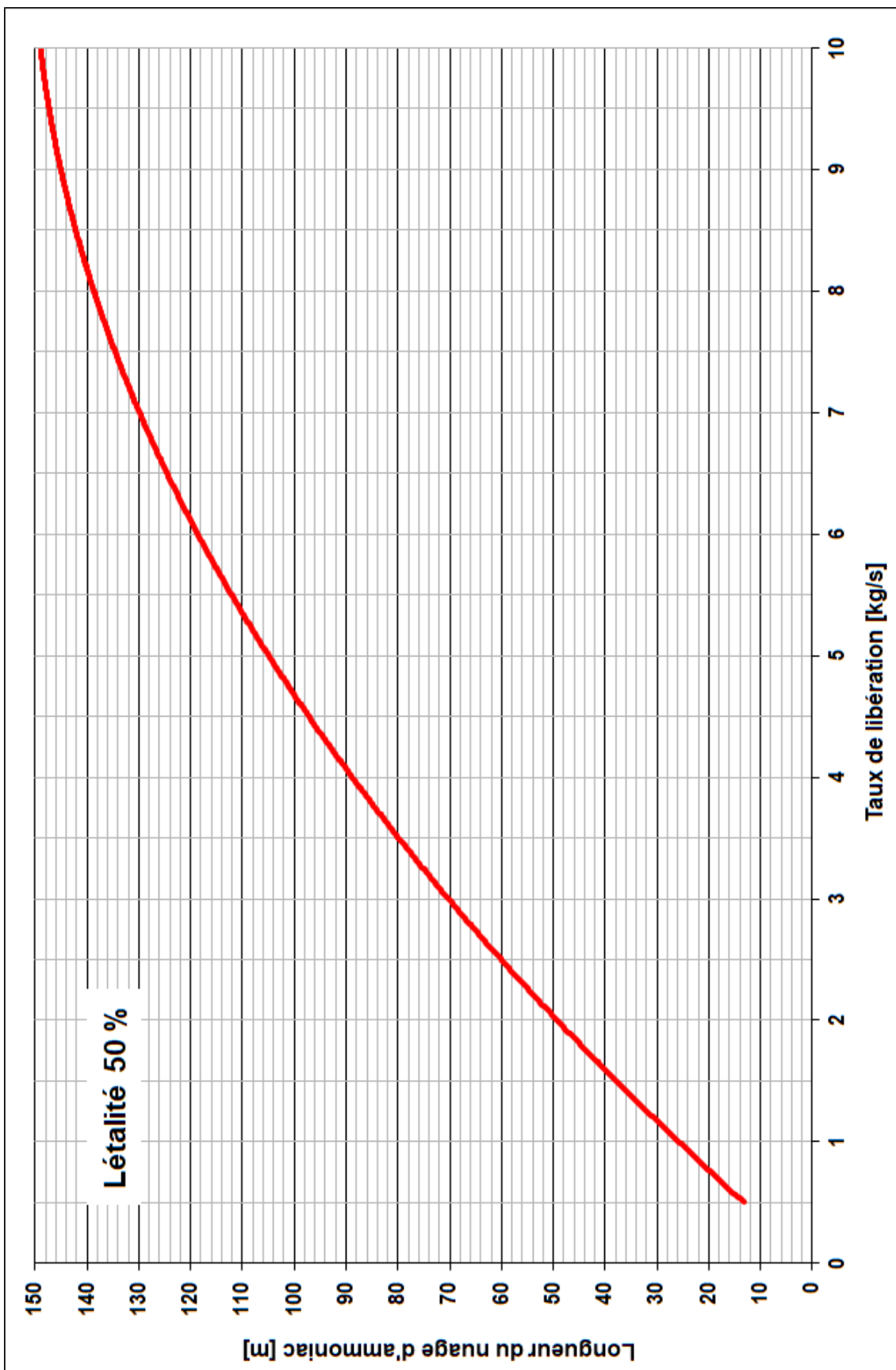
[Retour à la table des matières](#)

Figure 50 : 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.



[Retour à la table des matières](#)

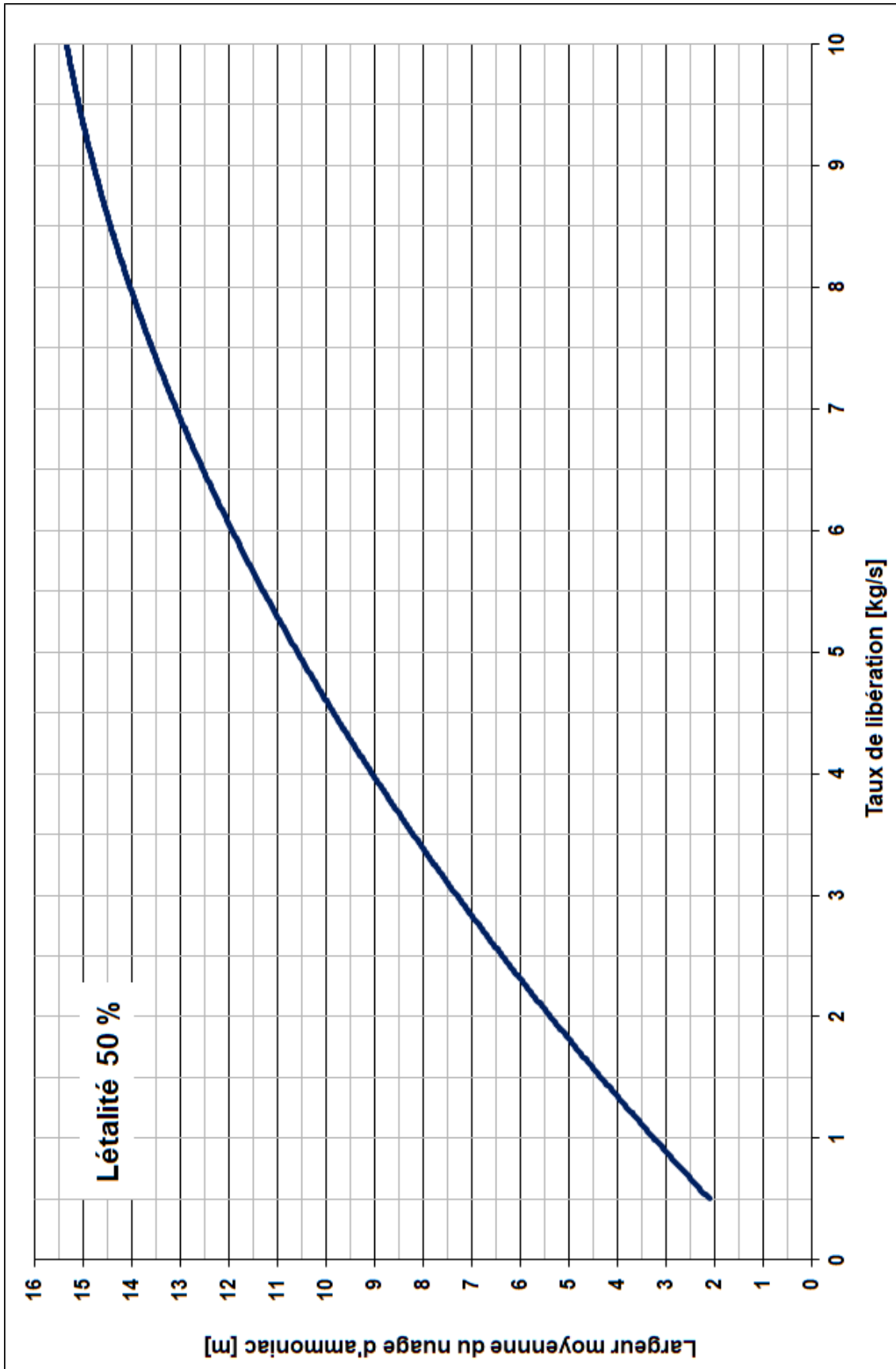
Figure 51 : Libération continue, modèle du gaz neutre : longueur pour une létalité de 50 %
Longueur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 50\%$, pour une libération avec terme source continu et une propagation sous forme de gaz neutre.



[Retour à la table des matières](#)

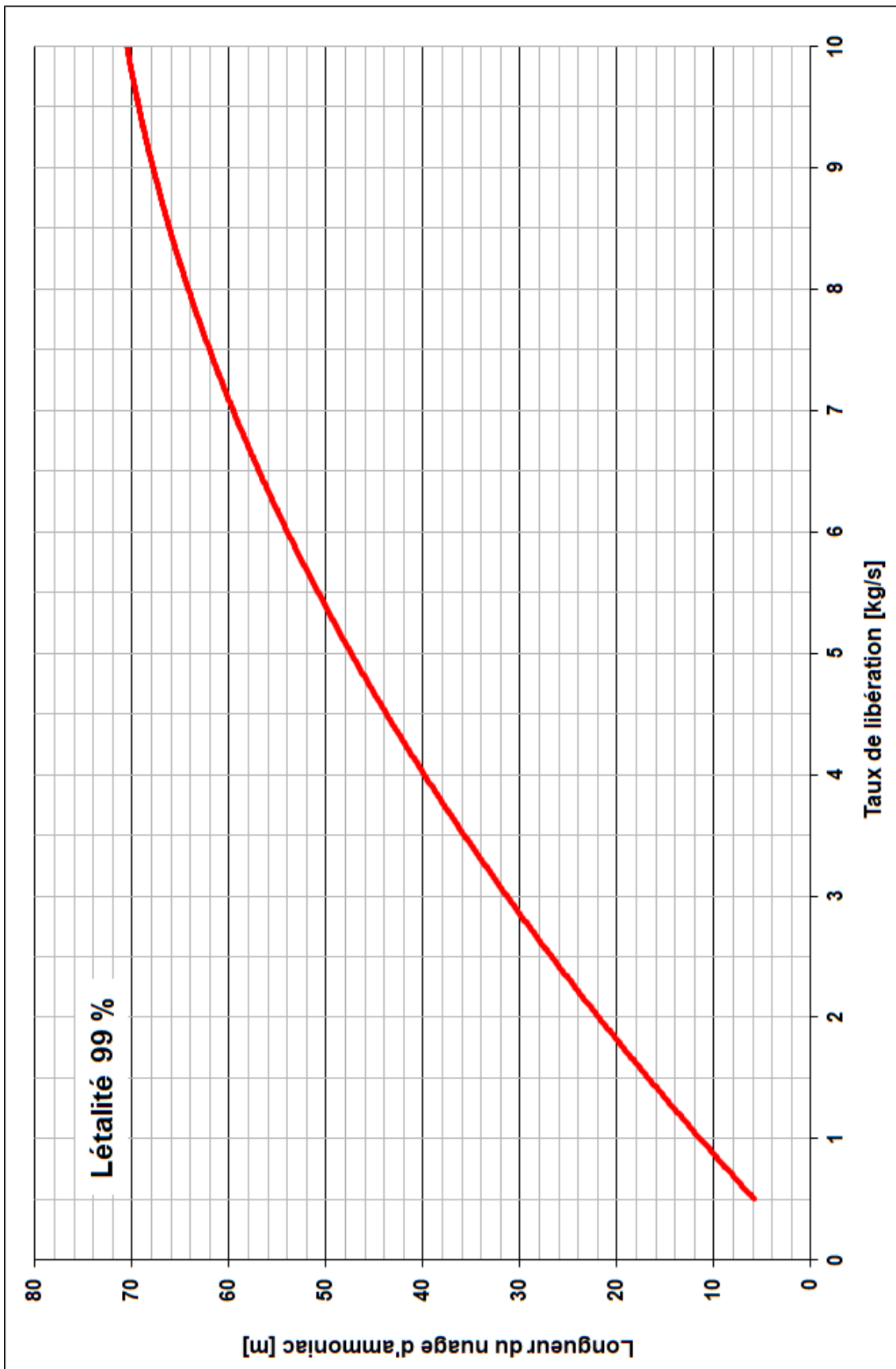
**Figure 52 : Libération continue, modèle du gaz neutre :
largeur moyenne pour la létalité de 50 %**

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.



[Retour à la table des matières](#)

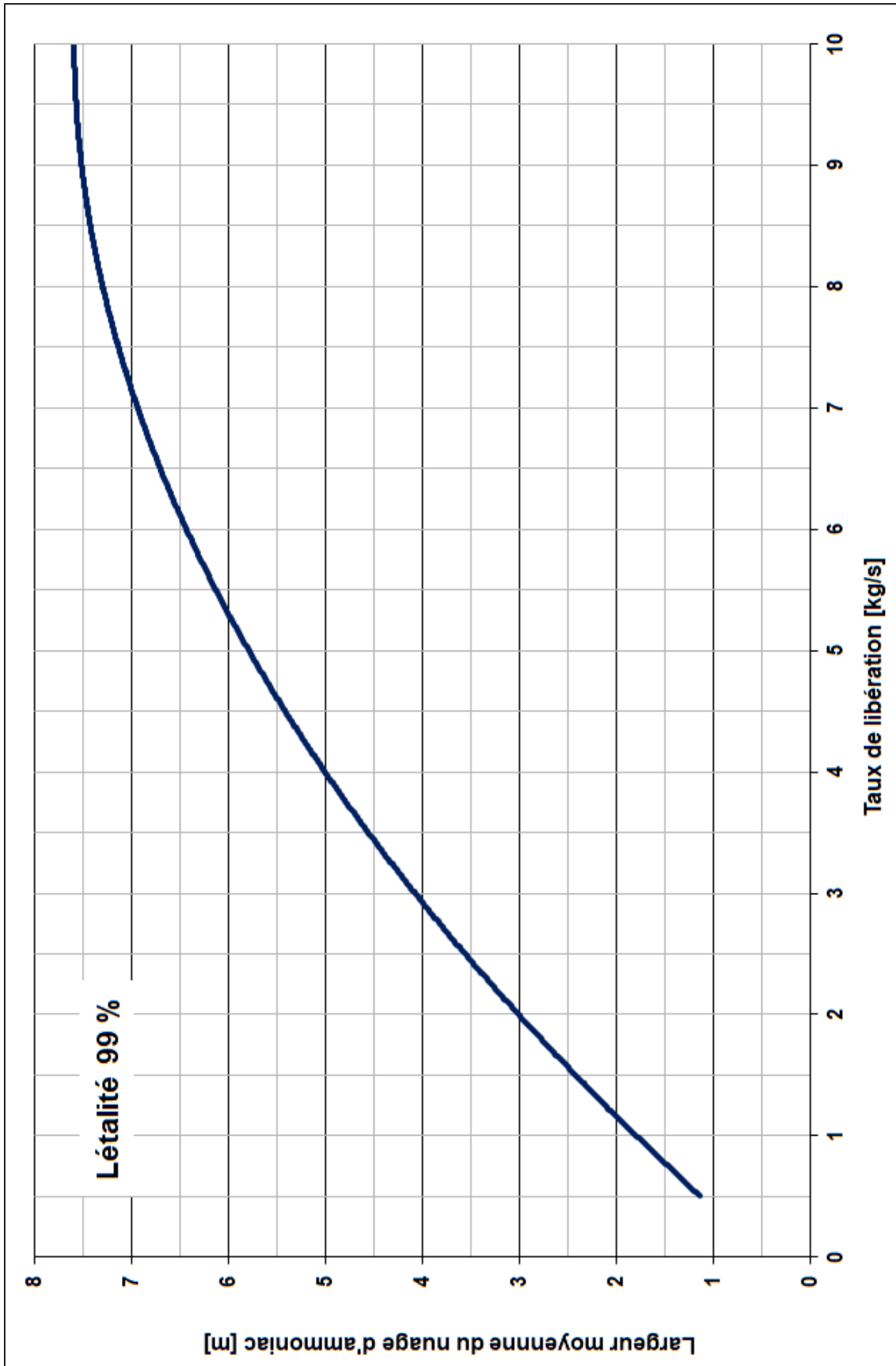
Figure 53 : Libération continue, modèle du gaz neutre : longueur pour une létalité de 99 %
Longueur de la zone à risque présentant une létalité $\geq 99\%$, pour une libération avec terme source continu et une propagation sous forme de gaz neutre.



[Retour à la table des matières](#)

**Figure 54 : 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.



[Retour à la table des matières](#)

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 GEXCON⁵³. 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.).

Relation entre la concentration d'ammoniac et la létalité	Concentration d'ammoniac ⁵⁴
<i>Létalité</i>	
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 = -15.6 b = 1.0, n= 2.0 (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.

A6 Effectif de personnes dans les situations particulières

Il est possible que des rassemblements de personnes qui ne correspondent pas à l'effectif moyen de personnes aient lieu à proximité d'une installation frigorifique ou d'une pompe à chaleur. Une densité de personnes nettement plus élevée peut être liée à des événements tels que : manifestations sportives et tournois, marchés, projets culturels en plein air, festivités traditionnelles. Le chapitre 2.2.4 décrit une démarche pragmatique pour décider quelles situations particulières doivent être prises en compte. La Figure 56 constitue la base de décision. Les hypothèses et les réflexions sur lesquelles reposent ces valeurs sont décrites ci-après.

Le nombre de personnes se trouvant dans la zone à risque est représenté en abscisse dans la Figure 56 sur une échelle logarithmique. Il est en corrélation directe, par le biais de la létalité dans la zone à risque, avec le nombre de morts représenté dans la Figure 55. L'ampleur s'appuie ainsi sur la représentation des indices d'accident majeur selon l'OPAM, voir [Lit. 15]. Pour la létalité moyenne dans la zone à risque, on est parti de 28 %, pour des taux de libération de 0,5 à 6,0 kg/s ; la dérivation est décrite dans l'annexe A3, Figure 33.

La répartition en deux secteurs repose également sur un diagramme PC selon l'OPAM, mais aucun « secteur intermédiaire » n'a été défini afin d'éviter les cas limite. Dans le présent rapport, ce secteur intermédiaire a été intégralement attribué à la zone « rouge », à savoir aux situations particulières devant être prises en compte (approche prudente).

Pour le secteur vert, il faut partir du principe que le risque demeure acceptable dans une situation particulière. S'il est établi pour une situation particulière donnée que le point se situe dans la zone rouge, il n'est pas exclu que l'événement présente un risque inacceptable.

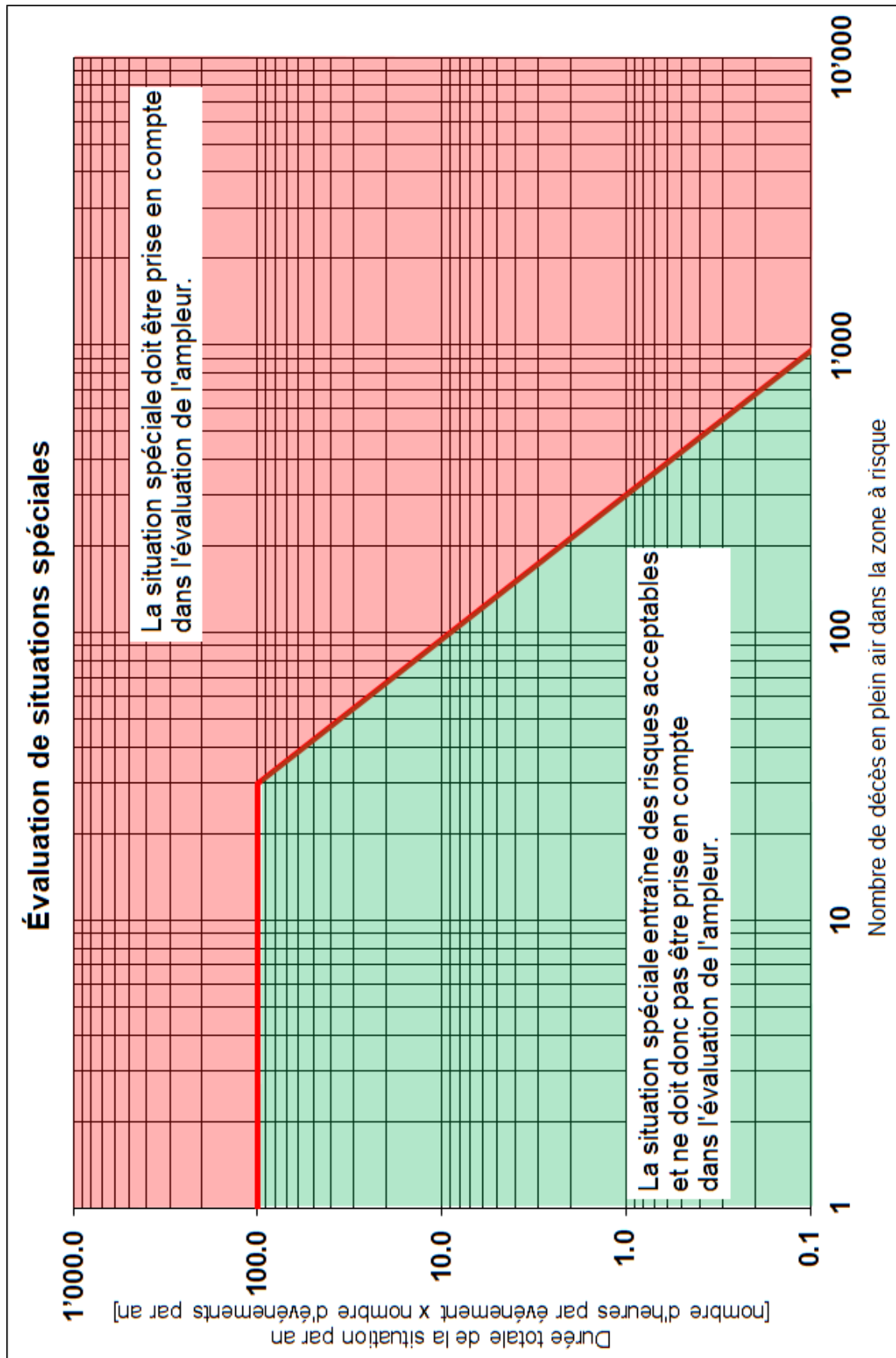
En ordonnée, la durée annuelle totale de la situation particulière est représentée de façon logarithmique. La réflexion repose sur une probabilité moyenne de libération de $5,0 \cdot 10^{-7}$ par an. Il est permis de considérer cette valeur comme plausible pour les installations standard en Suisse ; elle repose sur les valeurs figurant dans la littérature pour le cas d'une défaillance totale des récipients et des conduites sous pression, telles qu'elles sont indiquées dans le tableau 3.3 de [Lit. 25] (récipients sous pression, défaillance spontanée et continue pendant 10 min, avec $5,0 \cdot 10^{-7}$ par an). Un aperçu de différentes valeurs pour la probabilité de libération se trouve dans la Figure 57.

L'exposition est représentée comme fonction des deux paramètres « présence de personnes » et « probabilité de libération », c'est-à-dire qu'elle est la probabilité que des personnes se trouvant dans la zone à risque soient effectivement exposées à un nuage d'ammoniac.

La répartition est définie de telle manière que les situations particulières où plus de 3 000 personnes se tiennent dans la zone à risque doivent toujours être prises en compte. De même, les situations particulières d'une durée d'au moins 100 h par an (env. 1 % du temps) doivent toujours être considérées.

[Retour à la table des matières](#)

Figure 55 : Représentation du secteur qui ne doit pas être pris en compte s'agissant de l'effectif de personnes (surface verte). Abscisse : unité « nombre de morts »



[Retour à la table des matières](#)

Figure 56 : Représentation du secteur qui ne doit pas être pris en compte s'agissant de l'effectif de personnes (surface verte). Abscisse : unité « nombre de personnes en plein air » (identique à la Figure 12)

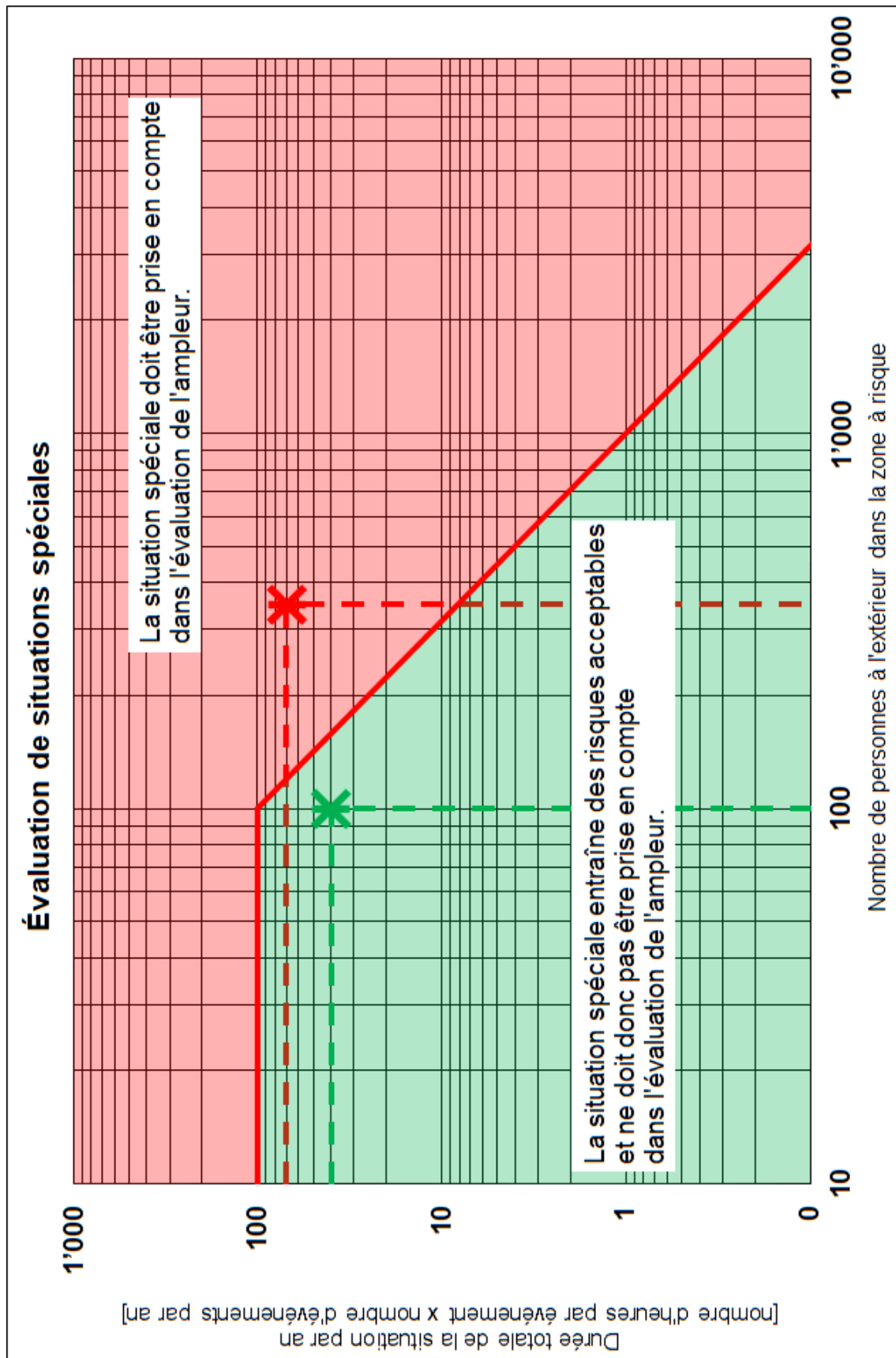
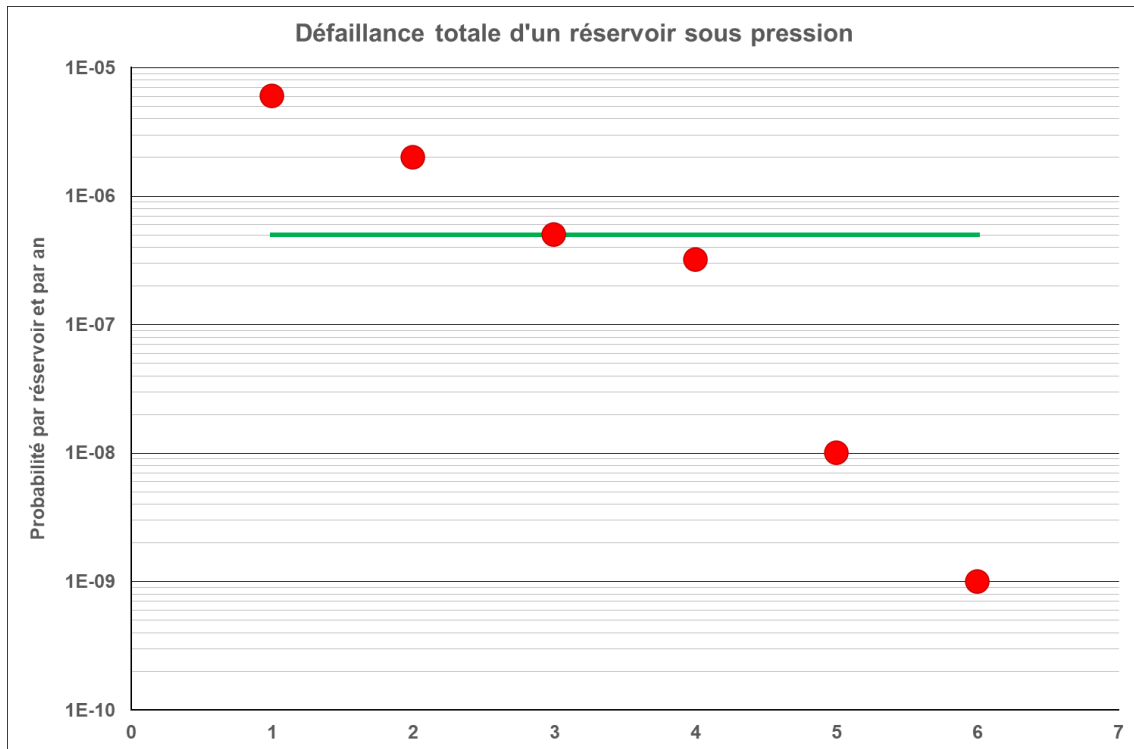


Figure 57 : Probabilité d'une défaillance du réservoir selon les sources mentionnées ci-dessous.



Index des sources, Figure 57

- Source 1 :
HSE (2012): Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments (28/06/2012), Item FR 1.1.3 Pressure Vessels
- Source 2 :
EC, JRC Technical Report (2017): Handbook of Scenarios for Assessing Major Chemical Accident Risks
- Source 3 :
VROM (2005): Guidelines for quantitative risk assessment (Purple Book): Défaillance du réservoir sous pression, tableau 3.3, p. 3.3
- Source 4 :
Flemish Government, LNE Department Environment, Nature and Energy Policy Unit Safety, Reporting Division (2009): Handbook Failure Frequencies for drawing up a Safety Report, chapitre 2, tableau 1
- Source 5 :
AIChE, CCPS (1989): Guidelines for Process Equipment Reliability Data with Data Tables. Data Table 3.6.2.1, mean failure rate, Rayleigh-Distribution
- Source 6 :
IChemE (2004): A new estimate of the likelihood of spontaneous catastrophic failure of pressurised LPG storage vessels, Symposium Series No. 150