Performances

Norme NF EN 378 : 2017 pour les Systèmes frigorifiques et Pompes à chaleur

Uniclima

cetim

Performances

Norme NF EN 378 : 2017 pour les Systèmes frigorifiques et Pompes à chaleur

Guide pour réaliser les analyses de risques

Version 2017

Benoît DUCHAZEAUBENEIX, Cetim
Emmanuelle BRIÈRE (UNICLIMA)

Uniclima

cetim

© CENTRE TECHNIQUE DES INDUSTRIES MÉCANIQUES (CETIM), 2017
ISSN 1767-2546
ISBN 978-2-36894-118-8

« Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit de cet ouvrage faite sans l'autorisation du CETIM est illicite. Elle constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées. » (Code de la propriété intellectuelle, articles L. 122-5 et L. 335-2)

Préface

Les protocoles de Montréal et de Kyoto, plus récemment la COP 21 (à Paris) et les accords de Kigali ont débouché sur la rédaction du règlement F-Gas qui a favorisé l'apparition ou la réapparition d'une multitude de fluides alternatifs aux fluides HFC à fort effet de serre. En conséquence, le marché est entré dans une période transitoire dans la recherche d'une offre de solutions alternatives pour toutes les applications.

Dans ce contexte, la norme NF EN 378 : 2017 relative à la sécurité et à l'environnement des installations frigorifiques et des pompes à chaleur a été récemment révisée pour tenir compte de ces dernières évolutions.

La bonne connaissance de la norme et des réglementations en vigueur est indispensable pour garantir la sécurité et la durée de vie des systèmes frigorifiques et pompes à chaleur.

Ce guide qui se veut pragmatique est illustré d'exemples d'application. Il a pour vocation, au travers d'analyses des risques réalisées par différents acteurs intervenant tout au long du cycle de vie de divers systèmes frigorifiques, de fournir à la profession un outil de référence pour l'application de la norme NF EN 378 : 2017.

Préambule

Ce guide a été élaboré par le Centre technique des industries mécaniques (Cetim) avec l'aide du syndicat des industries thermiques, aérauliques et frigorifiques (UNICLIMA), de l'AFCE (Alliance froid climatisation environnement), de l'AFF (Association française du froid).

Sa rédaction a été supervisée par un groupe d'experts qui ont également apporté diverses contributions :

Entreprise	Nom
AFPA	Ali BEN SADIA
ARISTON	Gregorio FABIO
ATLANTIC	Jean-François MARIE et Vincent JEANMICHEL
CARRIER TRANSICOLD	André STUMPF
CEMAFROID	Éric DEVIN
DAIKIN	Michel RAMBAUD et Frédéric PIGNARD
DANFOSS	Pierre GINIES
ENGIE HOME SERVICES	Emmanuel LAURENTIN
KRYOTEC	Marc SIMONNET
LENNOX EMEA	Alain COMPINGT
LG ELECTRONICS	Patrick MOUDÉKÉ et Nicolas MATHIEU
MITSUBISHI ELECTRIC	Christel MOLLÉ
SANDEN	Jérôme DESNO
TECUMSEH EUROPE	Laurence PEROUFFE et Gaël RENEVIER
TRANE	Laurent LEGIN
UTC CCS HVAC	Didier PERALES

Le Cetim et UNICLIMA remercient vivement ces contributeurs.

Le projet a été piloté et supervisé par Benoît DUCHAZEAUBENEIX (Cetim) et Emmanuelle BRIÈRE (UNICLIMA).

Les auteurs souhaitent vivement bénéficier des remarques de leurs lecteurs en vue de l'amélioration de ce document. Pour toute remarque ou demande, prendre contact avec UNICLIMA (http://www.uniclima.fr/, rubrique « contact »).

Sommaire

Préface 3

Préambule 5

Avant-propos 9

Introduction 11

1 Norme NF EN 378 : 2017 : Pourquoi et comment ? 14

1.1 Les raisons de cette nouvelle version 14

1.2 Processus de révision de la norme 378 : les bases 15

2 Les nouveautés les plus marquantes de la norme NF EN 378 : 2017 16

2.1 Généralités 16

2.2 Les nouveautés de la partie 1 17

2.3 Les nouveautés de la partie 2 19

2.4 Les nouveautés de la partie 3 20

2.5 Les nouveautés de la partie 4 20

2.6 Autres points importants 20

3 L'analyse des risques et le cycle de vie des systèmes frigorifiques et des pompes à chaleur 21

3.1 La démarche d'analyse des risques 21

3.1.1 Qu'est-ce qu'un risque ? 21

3.1.2 L'analyse des risques et le cycle de vie 21

3.1.3 Le plan de réduction des risques 24

3.1.4 La norme NF EN 378 : 2017 et les différents types de risques 25

3.1.5 Les différentes étapes de l'analyse des risques 28

3.2 Facteurs modulant le niveau de risque dans l'analyse des risques 37

3.2.1 Généralités 37

3.2.2 La catégorie d'accès et les utilisations de tout ou partie du système frigorifique 37

3.2.3 Le fluide frigorigène 38

3.2.4 L'emplacement du système frigorifique 38

3.2.5 La classification du système frigorifique 40

3.2.6 La quantité de fluide frigorigène 40

3.2.7 Le niveau de risque de la zone dans le bâtiment 42

3.2.8 Les risques de la zone dans laquelle se situe le bâtiment 42

4 Cas d'application sur un exemple fil rouge 42
4.1 Présentation de l'exemple fil rouge 42
4.2 Phase de vie « conception » 47
4.2.1 Description du système 47
4.2.2 Données d'entrée 47
4.2.3 Tableau d'analyse des risques d'un système avec fluide CO_2 49
4.2.4 Principales mesures de réduction du risque apportées par la norme NF EN 378 : 2017 55
4.3 Phase de vie « construction » 59
4.3.1 Description du système 59
4.3.2 Données d'entrée 60
4.3.3 Tableau d'analyse des risques d'un système avec fluide R455A 61
4.3.4 Principales mesures de réduction du risque apportées par la norme NF EN 378 : 2017 64
4.4 Phase de vie « installation in situ » 65
4.4.1 Premier exemple : une unité de condensation CO_2 65
4.4.2 Deuxième exemple : un système à Débit de Réfrigérant Variable avec fluide R32 70
4.4.3 Troisième exemple : système indirect utilisant un refroidisseur de liquide ou PAC avec fluide R1234ze 79
4.4.4 Principales mesures de réduction du risque apportées par la norme NF EN 378 : 2017 84
4.4.5 Exemples de calcul de charge 87
4.5 Phase de vie « fonctionnement » 88
4.5.1 Généralités 88
4.5.2 Tableau d'analyse des risques d'un système direct utilisant un refroidisseur de liquide ou PAC avec fluide R1234ze 89
4.6 Phase de vie « maintenance ou réparation » 92
4.6.1 Premier exemple : un meuble frigorifique de vente avec fluide R290 92
4.6.2 Deuxième exemple : une centrale avec fluide R744 94
4.6.3 Troisième exemple : une unité de climatisation avec fluide HFC R32 98
4.6.4 Principales mesures de réduction du risque apportées par la norme NF EN 378 : 2017 102
4.7 Phase de vie « mise au rebut » 103
5 Conclusion 103
Annexe 1 105
Annexe 2 111
Annexe 3 113
Annexe 4 115
Annexe 5 119
Annexe 6 123
Annexe 7 125

Avant-propos

L'ensemble des principes ou points techniques évoqué dans la norme NF EN 378 : 2017[1] n'est pas traité dans ce guide dont l'application n'est pas suffisante pour garantir une conformité avec cette norme ou avec toute autre réglementation.

Ce guide est un outil mis à la disposition des acteurs de la profession mais ne se substitue en aucune sorte à leurs responsabilités en la matière.

L'objectif était de finaliser un guide de manière synchronisée avec la publication nationale de la norme NF EN 378 : 2017. Les auteurs ont conscience qu'il comporte des manques et c'est la raison pour laquelle des mises à jour seront nécessaires.

1. La norme NF EN 378 : 2017 correspond à la norme européenne EN 378 : 2016.

Introduction

Qu'est-ce que la norme NF EN 378 : 2017 ?

La norme NF EN 378 : 2017 est une norme à visée environnementale et de sécurité, publiée par le CEN (Comité européen de normalisation) et qui fournit un certain nombre de règles et de recommandations concernant la conception, l'installation, l'exploitation et la maintenance des systèmes frigorifiques et pompes à chaleur (PAC). Dans la suite du guide, le terme « système frigorifique » désignera également les pompes à chaleur.

À qui s'adresse le guide ?

Le guide s'adresse aux directions et aux opérationnels des acteurs suivants : formateurs, enseignants, maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, concepteurs, fabricants, installateurs, mainteneurs et exploitants, services techniques (collectivités locales, d'industriels, organisations professionnelles du bâtiment…), Comité Hygiène et Sécurité et Conditions de Travail, experts judiciaires et de compagnie d'assurance, organismes de contrôle, des systèmes cités précédemment.

Objet et structuration du guide

C'est un guide d'application de la norme NF EN 378 : 2017 au travers de la présentation d'analyses de risques basées sur un exemple « fil rouge » (voir § 4) et d'autres exemples illustratifs plus simples.

Le guide est structuré autour de l'analyse des risques[1] car c'est un point fondamental de la norme et des directives (Machines, Équipements sous pression…) de manière plus générale. En effet, la finalité de la norme NF EN 378 : 2017 est d'aboutir à une maîtrise des risques posés par les systèmes frigorifiques et qui peuvent affecter les personnes, les biens et l'environnement.

Cet objectif ne peut être réalisé complètement que si l'ensemble des phases de vie d'un système frigorifique a été pris en compte : de la conception à la mise au rebut. En effet, chaque phase de vie présente des acteurs différents (de l'industriel fabricant d'une machine jusqu'à l'exploitant d'un site en passant par l'entreprise en charge de l'installation du système frigorifique ou de sa maintenance) et des risques différents. C'est la raison pour laquelle ce guide est découpé par phase de vie à l'image de la norme.

1. Au sens strict donné par la norme EN ISO 12100 qui a servi de référence pour ce guide, l'analyse des risques n'est qu'une partie du processus de gestion des risques qui doit être mené par les acteurs du cycle de vie **(voir Figure 16)**.

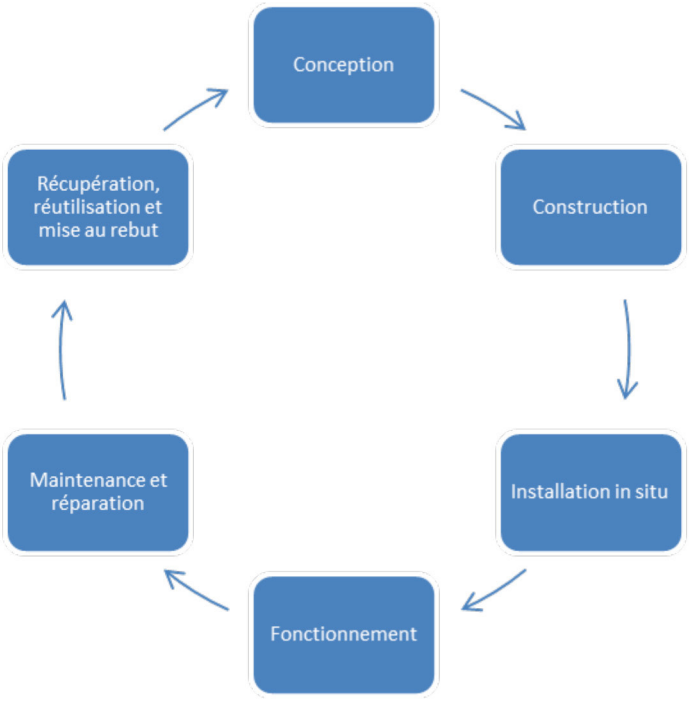


FIGURE 1 : Phases du cycle de vie d'un système frigorifique

Pour chacune des phases de vie, le lecteur trouvera dans ce guide un paragraphe dédié contenant un tableau présentant les principales mesures de réduction du risque que l'acteur de la phase de vie concernée pourra utiliser et qui est prescrit par la norme NF EN 378 : 2017 : le choix de composants résistant aux fluides pour l'industriel concepteur d'une machine, la mise en place de détecteurs pour l'entreprise qui conçoit et installe un équipement complet…

Limites du guide et avertissements

Ce guide traite essentiellement des risques pour la sécurité des personnes, bien que la norme NF EN 378 : 2017 traite de la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement.

Les risques liés aux catastrophes naturelles (sismiques…) ne sont pas traités dans ce guide : c'est à l'installateur et au maître d'ouvrage de les prendre en compte en fonction des réglementations en vigueur.

Le périmètre d'application du guide est la norme NF EN 378 : 2017 et la France. Les autres normes à considérer sont rappelées aux chapitres 2 des quatre parties de la norme. Les directives associées et citées dans ce guide (Équipements sous pression, Machines, Zones explosives, Substances dangereuses…) peuvent apporter des exigences supplémentaires. À l'exception des points précisés dans les Annexes Z de la partie 2 de la norme NF EN 378 : 2017, cette norme ne donne pas présomption de conformité avec les directives applicables.

Pour d'autres pays, la réglementation en vigueur peut apporter des exigences supplémentaires ou différentes.

Il est possible à chaque étape du cycle de vie du système frigorifique de se conformer à toutes les réglementations applicables sans le support de la norme NF EN 378 : 2017.

La norme NF EN 378 : 2017 : une courte introduction

La norme comporte quatre parties qui couvrent respectivement :

Partie 1 : exigences de base, définitions, classification et critères de choix.

Partie 2 : conception, construction, essais, marquage et documentation.

Partie 3 : installation in situ et protection des personnes.

Partie 4 : fonctionnement, maintenance, réparation et récupération.

La norme est donc organisée autour du cycle de vie d'un système frigorifique : depuis sa conception avec ses spécifications jusqu'à sa fin de vie.

La partie 2 de la norme NF EN 378 : 2017 est harmonisée au titre des directives Équipement sous pression 2014/68 UE et Machines 2006/42 UE[2].

2. Voir Annexes ZA et ZB de la norme NF EN 378 : 2017.

1 Norme NF EN 378 : 2017 : Pourquoi et comment ?

1.1 Les raisons de cette nouvelle version

La lutte contre le changement climatique conduit à une évolution mondiale des réglementations afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) mesurées en Tonnes CO_2 équivalent. La diminution drastique de l'utilisation, et même l'interdiction de certains fluides à fort Potentiel de réchauffement planétaire[3] (PRP) va conduire à l'utilisation plus fréquente de fluides à PRP plus faible mais comportant d'autres risques.

L'application de ces nouveaux règlements internationaux en toute sécurité impose une classification internationale plus fine des fluides frigorigènes et l'adaptation des normes et règlements internationaux permettant leur utilisation en toute sécurité (Établissements recevant du public – ERP…).

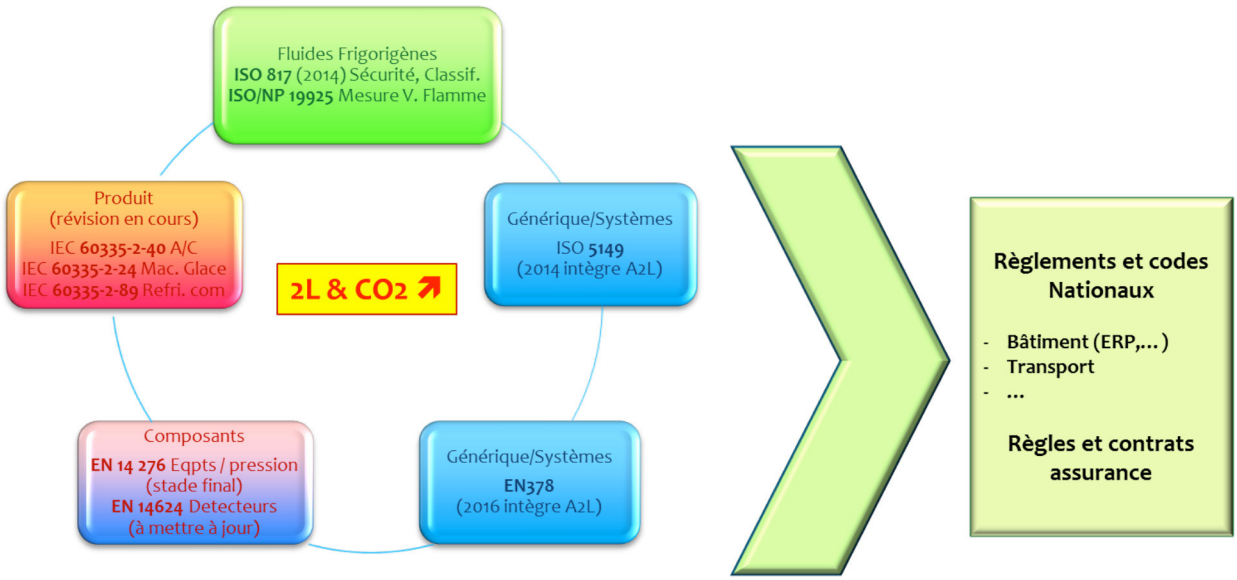


FIGURE 2 : Liens entre les principaux référentiels et la norme NF EN 378 : 2017 (non exhaustif)

Remarque : les normes IEC 60335 sont reprises sous forme de normes NF EN 60335 à la différence de l'ISO 5149 qui n'est pas reprise dans la collection des normes européennes et françaises ; l'EN 378 prenant en compte l'ISO 817 et l'ISO 5149.

3. Global Warming Potentiel (GWP) est le terme anglais pour traduire PRP.

FIGURE 3 : Périmètre de normes typiques

Une catégorie « légèrement inflammables » a été créée pour les fluides frigorigènes. Il fallait donc mettre à jour la norme NF EN 378 : 2008 afin d'intégrer cette nouvelle classification « 2L ». D'autre part, la prise en compte du CO_2 a été améliorée.

Enfin, il était important d'enrichir la norme NF EN 378 : 2017 et de mettre en avant la nécessité de réaliser des analyses de risques. Les principales conséquences sur le contenu de la norme NF EN 378 : 2017 et son application sont présentées dans les chapitres suivants.

1.2 Processus de révision de la norme 378 : les bases

La révision du texte de la norme est le résultat final produit par plusieurs groupes de travail composés de membres représentant des organismes nationaux et européens, chacun disposant de solides connaissances sur l'ensemble des normes et règlements ayant un rapport plus ou moins étroit avec la norme 378.

La révision de la norme 378 passait obligatoirement et au préalable par la révision des textes ISO 817 et ISO 5149 pour maintenir la meilleure harmonisation possible au niveau européen mais il était clair dès le départ que la correspondance exacte ou l'harmonisation parfaite ne serait pas possible sur la totalité des textes.

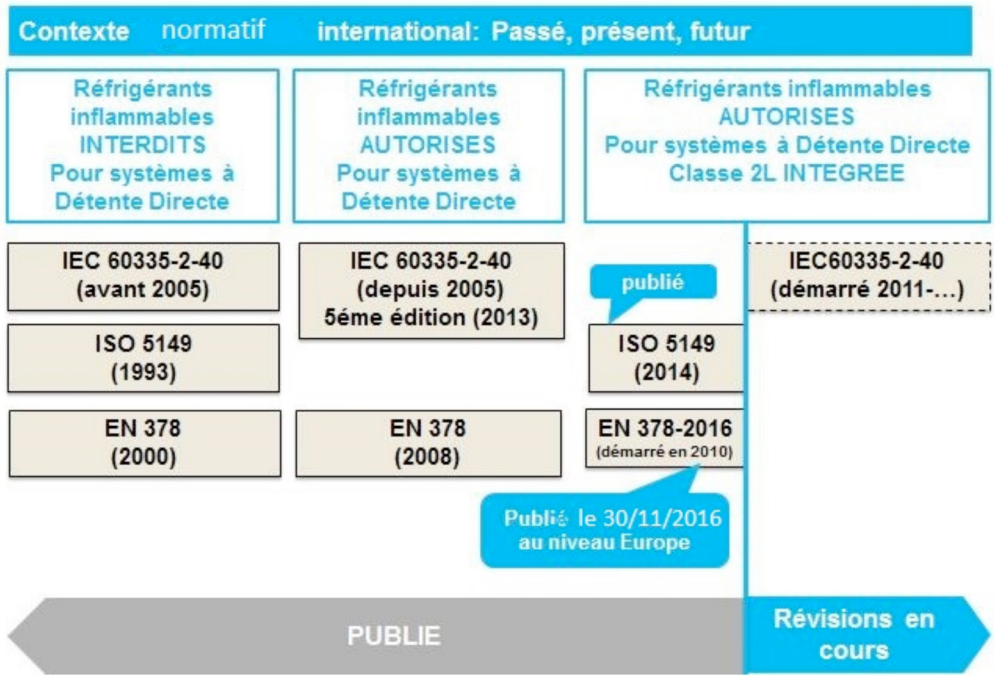


FIGURE 4 : Contexte normatif (source CENELEC)

Le processus d'élaboration des normes comprend toujours plusieurs étapes nécessitant des analyses, des discussions et des corrections suggérées par les différents intervenants. Le but étant de trouver le consensus le plus large possible avant qu'une nouvelle version ne soit proposée, donnant alors lieu à un vote.

Concernant le processus de la nouvelle norme européenne EN 378, et durant les travaux, plus de 1500 commentaires d'origine rédactionnelle ou technique ont été traités sur la période allant de 2013 à fin 2015.

2 Les nouveautés les plus marquantes de la norme NF EN 378 : 2017

2.1 Généralités

Coté nouveautés, lesquelles sont détaillées ci-dessous, notons l'introduction d'une nouvelle classe d'inflammabilité 2L ou encore de nouvelles méthodes alternatives de calcul de charges limites de réfrigérant en prenant en compte sa nature et des conditions d'utilisations identifiées. La plupart de ces changements figurent dans la partie 1. La partie 2 contient quelques évolutions liées aux exigences relatives aux directives Machine et ESP.

La partie 3 inclut des modifications essentiellement liées aux salles des machines et en particulier donne le détail des exigences en fonction de la situation du matériel :

- occupe seul une salle des machines dédiée ;
- est avec d'autres matériels ;
- ou encore est situé dans l'espace occupé.

Les modifications de la partie 4 sont moins nombreuses et comprennent essentiellement les alignements avec l'ISO 5149.

Plusieurs annexes d'informations ont été également intégrées comme celle sur les risques de fuites liées à la corrosion, les risques de fuites liées à une manipulation comme durant la mise en service, ou encore les précautions nécessaires liées à la manipulation de l'ammoniac pendant les phases de maintenance et de démantèlement **(partie 4, dans l'Annexe C)**.

Il est important de comprendre que les exigences en matière de normes sur les produits peuvent prévaloir sur les exigences contenues dans les normes génériques.

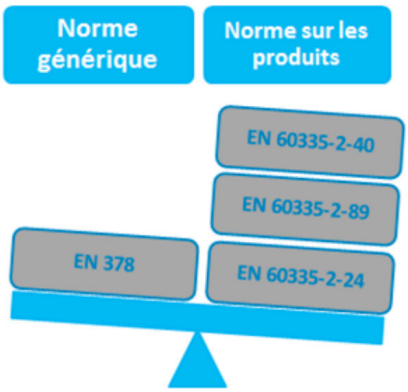


FIGURE 5 : Relations entre les normes européennes et les normes CENELEC (source CENELEC)

2.2 Les nouveautés de la partie 1

Les principaux changements sont les suivants :

Introduction de la classe 2L : Le changement le plus significatif est l'ajout de la classe d'inflammabilité 2L et les implications pour la conception des systèmes avec des fluides à plus faible PRP. Dans la précédente version de la norme NF EN 378 : 2008, certains de ces fluides étaient listés dans le groupe de sécurité 2.

Salle des machines : Il y a quelques changements dans le vocabulaire utilisé puisque la « salle des machines spéciale » s'appelle désormais la « salle des machines frigorifiques séparée » en considérant que ce qui la distingue des autres locaux techniques c'est que celle-ci ne contient que des équipements de réfrigération ou de climatisation (voir définitions des autres locaux techniques partie 1 § 3-2 de la norme NF EN 378 : 2017).

La catégorie d'occupation considérée pour déterminer les limites admissibles de réfrigérants a été changée par la catégorie d'accès repérée en minuscules a, b ou c en prenant en compte la qualification des personnes qui peuvent ou pas avoir accès à la zone où se trouve l'équipement.

La localisation des équipements qui influence les exigences a été formalisée par l'introduction de quatre hypothèses d'emplacements et repérées en chiffres romains I, II, III et IV, combinées avec les catégories d'accès.

La charge maximale acceptée en fonction de la nature du fluide : Elle résulte de deux calculs. L'un basé sur la toxicité, l'autre sur l'inflammabilité. C'est la limite la plus stricte basée selon ces deux critères qui s'appliquera au système afin de minimiser les risques.

Exemples	Limite toxicité	Limite inflammabilité*	Charges limites selon
R717 (ammoniac)	0,00035 kg/m^3	0,023 kg/m^3	Toxicité
R32	0,3 kg/m^3	0,061 kg/m^3	Inflammabilité
R1234yf	0,47 kg/m^3	0,0578 kg/m^3	Inflammabilité

* : Limite inflammabilité = 20 % de LFL. Pour R32 : LFL = 0,307 kg/m^3. 20 % de LFL équivaut à 0,061 kg/m^3

FIGURE 6 : Détermination critère et exemples de calcul de charge limite (source CEN)

Nouveaux indices liés au calcul de la charge limite de réfrigérant dans les espaces occupés (RCL, QLMV, QLAV[4]) : dans la norme NF EN 378 : 2008, notamment pour les fluides A1, ce calcul se résumait à repérer le plus petit volume et à en déduire la charge limite du système (en multipliant ce volume par la limite pratique du fluide en sachant qu'il n'était pas tenu compte de la ventilation). Maintenant, ces trois indices permettent de procéder au calcul de la charge limite du système tout en tenant compte du niveau de ventilation des locaux.

Sous réserve que le local dispose d'un espace suffisant sous la porte, la limite de concentration **RCL** pour les étages les plus bas en sous-sol sera admise sans ajout de systèmes de sécurité supplémentaires.

- Dans le cas où la limite **RCL** (pour l'étage le plus bas en sous-sol ou **QLMV** pour les autres étages) serait dépassée, il est possible d'accepter un niveau de concentration supérieur à **RCL** (ou **QLMV**) sous réserve de mettre en place une des mesures décrites dans la norme NF EN 378 : 2017 partie 3 articles 6, 8 et 9.

- Dans le cas où la limite **QLAV** est dépassée, au moins deux des mesures spécifiées dans la norme NF EN 378 : 2017 partie 3 articles 6, 8 et 9 doivent être appliquées.

Avertissements :

- Pour l'étage le plus bas en sous-sol du bâtiment, la limite **QLAV** ne peut pas être dépassée.

- De plus, « *même s'il n'y a pas de système frigorifique à l'étage le plus bas, lorsque la charge maximale du système dans le bâtiment divisée par le volume total de l'étage le plus bas dépasse la valeur de QLMV, une ventilation mécanique doit être prévue conformément au FprEN 378-3 : 2016, 6.3* ».

Exemples de systèmes additionnels : Des ventilations supplémentaires d'urgence, des détecteurs de fuites, des alarmes, etc. ; ces systèmes contribuant à s'assurer que le danger peut être, en cas de fuite, rapidement maîtrisé.

4. Voir les définitions **Figure 7** ci-après.

Avec cette nouvelle version de la norme, le concepteur pourra choisir le mode de calcul le plus adapté en fonction des systèmes de traitement de l'air sélectionnés, des systèmes de sécurité possibles à mettre en place et le coût de chacun d'entre eux.

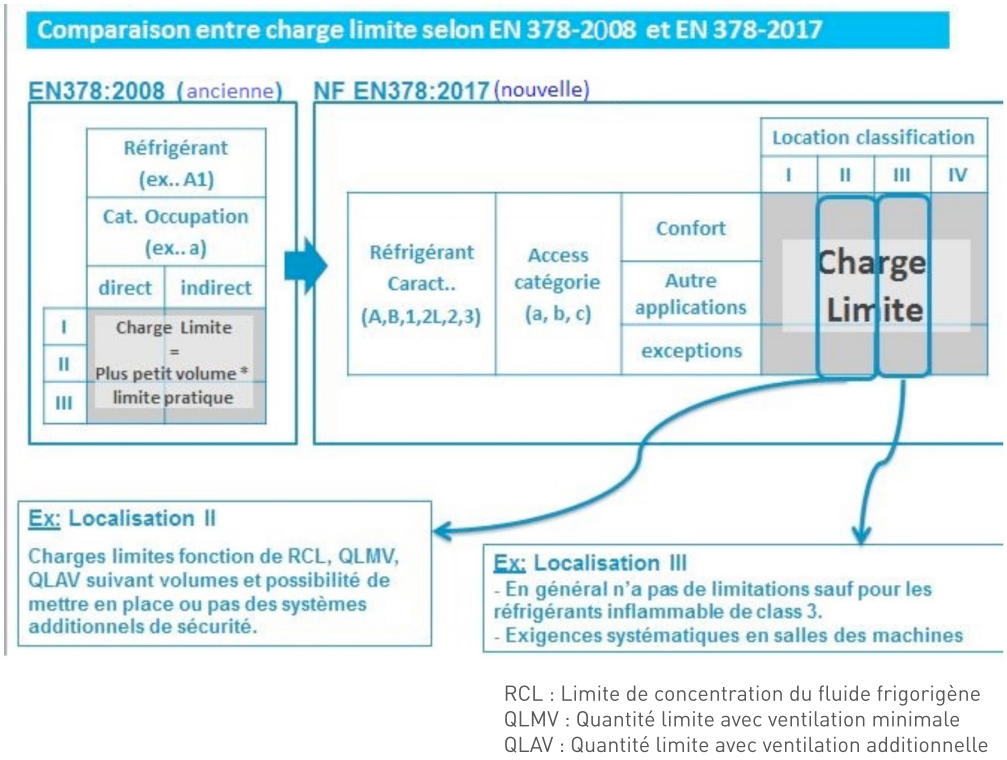


FIGURE 7 : Calcul de la charge de fluide frigorigène selon la norme NF EN 378 de 2008 et celle de 2017 (source CEN)

Mise à jour de l'Annexe E (classification de sécurité et informations sur les fluides frigorigènes) avec des valeurs corrigées par rapport à la version actuelle. Cette annexe doit être maintenant alignée sur l'ISO 817 : 2014 mais il faut prendre conscience que nous sommes dans une période où de nouveaux fluides sont commercialisés régulièrement ; d'où une difficulté d'harmoniser en permanence l'EN 378 avec l'ISO 817.

2.3 Les nouveautés de la partie 2

Un travail important a été réalisé pour aligner la partie 2 avec la directive des Équipements sous pression (ou DESP) et la directive Machines.

Les bouchons fusibles sont désormais interdits **(cf. § 6.2.6.6.3 de la norme NF EN 378 : 2017 partie 2)** car ils ne sont plus considérés comme des limiteurs de pression acceptables.

Quatre annexes supplémentaires ont été ajoutées par exemple sur les fuites possibles dans différents cas comme : dégradation et fissuration en cas de corrosion, manipulation des fluides durant la mise en service et la maintenance, et enfin une annexe est consacrée aux risques potentiels liés aux sources de chaleur. Ces recommandations ne constituent pas pour autant une norme de « sécurité en environnement » mais elles contribuent à une mise en œuvre plus adaptée. Puisque les quatre annexes ont un caractère informatif, elles permettent de suivre une démarche positive pour rendre les informations faciles d'accès. De plus, la sensibilité des détecteurs de fuite utilisés lors des tests d'étanchéité a été augmentée.

Les critères d'acceptation du test d'étanchéité sont fonction du PRP du fluide et/ou de la charge du système **(cf. § 6.3.3 de la norme NF EN 378 : 2017 partie 2)**.

Les critères de mise en place des dispositifs de protection comme les soupapes et les pressostats ont été modifiés **(cf. § 6.2.6 de la norme NF EN 378 : 2017 partie 2)**.

2.4 Les nouveautés de la partie 3

Les modifications apportées à la partie 3 ne sont pas comparables en volume à celles apportées aux parties 1 et 2 et sont essentiellement liées à l'introduction de la classe d'inflammabilité 2L ainsi qu'au changement de dénomination de la « salle des machines spéciale ». Ce terme a causé beaucoup de confusion car la salle n'était pas « spéciale » dans le sens où les exigences sont identiques à une salle des machines standard.

Après beaucoup de discussions, le terme de « salle pour les systèmes frigorifiques séparée » ou même très sobrement « salle des machines » dans cette partie 3 a été adopté comme une traduction plus exacte en tenant compte du fait qu'il s'agit d'une pièce qui peut ne contenir que des systèmes frigorifiques ; les autres types de machines n'y étant pas autorisés.

Sont également indiqués des niveaux de sécurité à prévoir en fonction de la nature du réfrigérant tels que des ventilations additionnelles ou la présence de détecteurs. Les caractéristiques minimales de ces équipements sont indiquées avec des références de normes correspondantes. Des précautions ou des interdictions à prendre en cas de source de chaleur ponctuelle sont précisées.

2.5 Les nouveautés de la partie 4

Les changements dans cette partie concernent l'harmonisation aussi étendue que possible avec l'ISO 5149 : 2014, l'ajout de nouveaux points concernant le tirage au vide et les essais ou tests d'hygrométrie avant de charger un système en fluide frigorigène.

2.6 Autres points importants

Il est rappelé au lecteur que la conformité aux exigences de la norme NF EN 378 : 2017 ne garantit pas que les exigences des directives applicables soient aussi couvertes.

Tous les réfrigérants de classes de sécurité 2L, 2 et 3 font l'objet de la classification selon le règlement CLP n° 1272-2008 (Classification, Labelling, Packing) sur laquelle est basée la répartition entre les groupes 1 et 2 de la DESP.

Les Annexes Z de la partie 2 de la norme NF EN 378 : 2017 offrent un moyen de se conformer **aux exigences essentielles** des directives PED et Machines. Il est impératif de se conformer à **toutes** les exigences de ces directives pour chaque système concerné.

Ainsi la manière de concevoir les systèmes sera un peu différente. Elle implique une analyse des risques qui intègre les différentes phases de la vie du système comme l'installation et la maintenance.

3 L'analyse des risques et le cycle de vie des systèmes frigorifiques et des pompes à chaleur

3.1 La démarche d'analyse des risques

3.1.1 Qu'est-ce qu'un risque ?

Par définition[5], un risque est la combinaison d'une « occurrence[6] » et d'une « gravité ». Dans ce guide, la convention choisie est que ces deux paramètres sont associés à un « dommage » qui regroupe les conséquences d'une situation dangereuse[7] sur les personnes, les biens ou l'environnement.

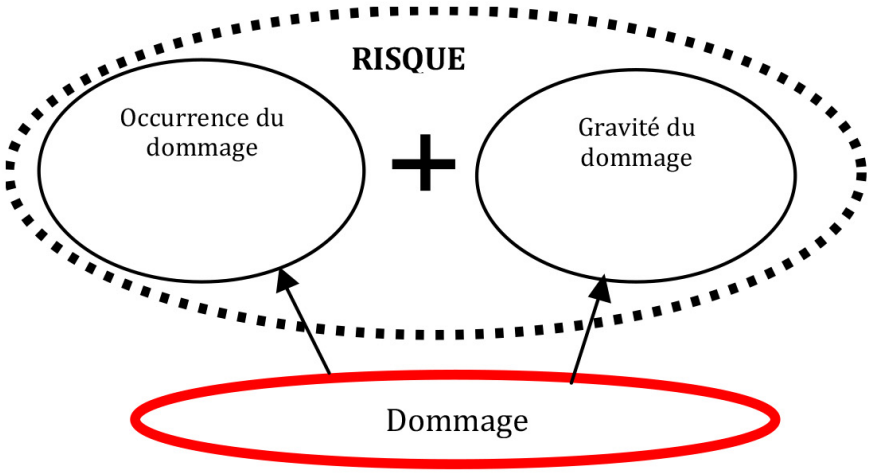


FIGURE 8 : Définition du risque choisie pour le guide

L'occurrence du risque est une mesure de la probabilité que le dommage se produise. La gravité du risque est une mesure de l'importance du dommage.

Ces deux paramètres sont indépendants et ils se combinent pour donner un niveau de risque devant permettre de décider si le risque doit être réduit ou pas.

Le terme dommage a été retenu car il est issu de la norme ISO 12100 qui a servi de référence pour la rédaction de ce guide. Toutefois, contrairement à la norme NF EN 378 : 2017, la norme ISO 12100 ne concerne que les dommages faits aux personnes.

Remarque : dans les différents tableaux d'analyse des risques qui traitent de l'exemple fil rouge au chapitre 4, la colonne qui décrit le dommage est intitulée « Risque ».

3.1.2 L'analyse des risques et le cycle de vie

Dans son introduction en partie 1, la norme NF EN 378 : 2017 ne cite pas explicitement le terme d'analyse des risques. En revanche, elle précise que « *l'objectif est de réduire les dangers possibles*

5. La définition d'un risque est donnée dans plusieurs normes dont la norme EN ISO 12100.
6. Le terme « fréquence » est également utilisé.
7. La définition d'une situation dangereuse est donnée par la **Figure 18**.

des systèmes frigorifiques et des fluides frigorigènes pour les personnes, les biens et l'environnement ». La pratique a montré que le processus à privilégier est l'analyse des risques. C'est une action préalable importante qui doit être menée par chacun des acteurs du cycle de vie[8] des systèmes frigorifiques (de celui qui conçoit le système à celui qui est en charge de la mise au rebut du système en passant par celui qui réalise la maintenance).

La norme NF EN 378 : 2017 ne précise pas le format d'analyse qu'il faut utiliser : c'est à l'entreprise de décider. Ainsi, dans ce guide, le lecteur trouvera deux formats de tableaux différents :

- Dans la phase de vie « Construction », un tableau d'AMDEC[9] processus **(voir Annexe 4)** est présenté.
- Dans les autres phases de vie, un autre format de tableau est montré et basé sur le modèle utilisé dans la norme NF EN ISO 12100 **(voir Figure 18)**.

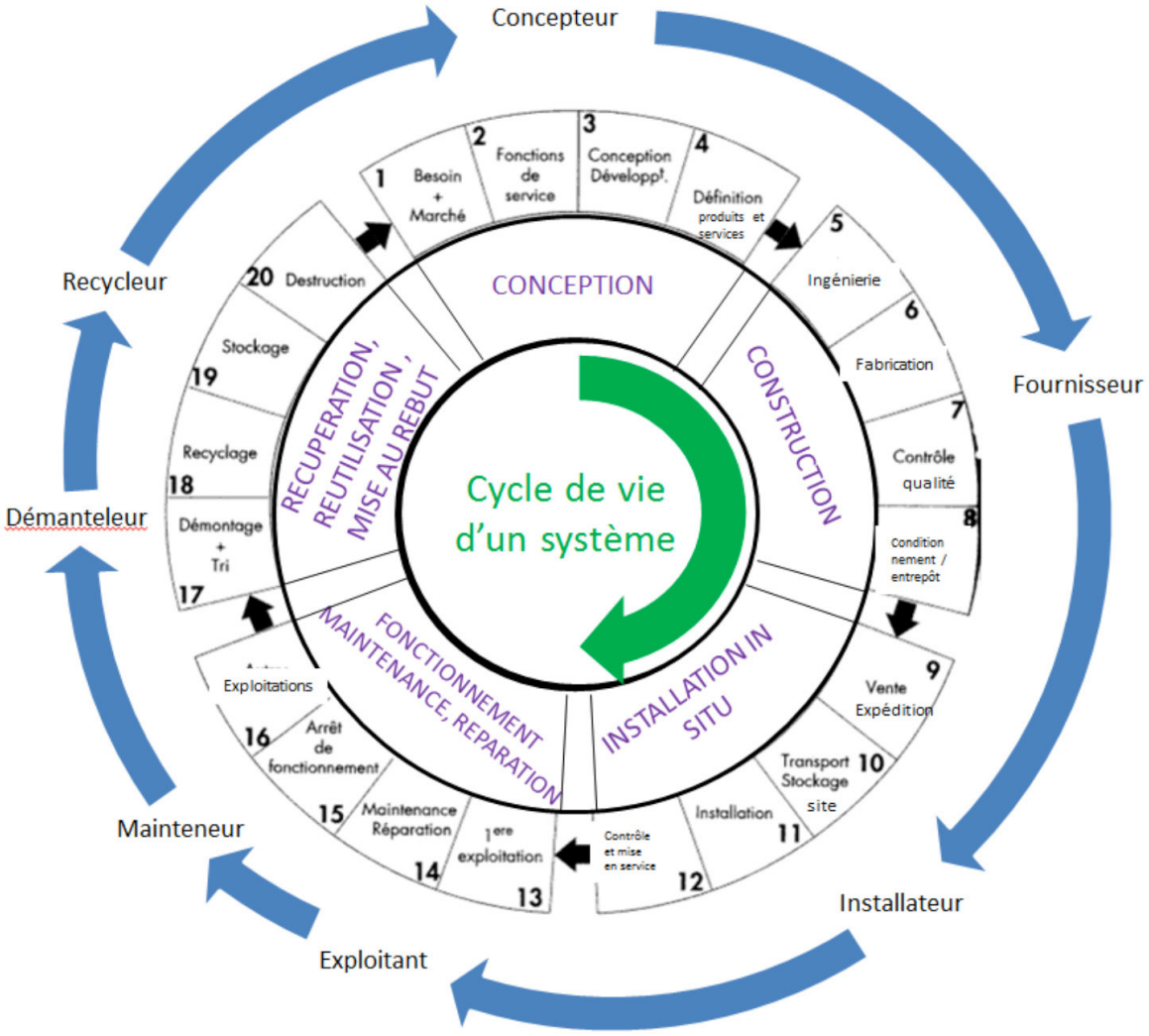


FIGURE 9 : Les différents intervenants dans le cycle de vie d'un système frigorifique

8. Le cycle de vie comporte les différentes phases de vie par lesquelles passe le système. L'introduction de la partie 1 de la norme NF EN 378 : 2017 définit ces phases de vie.
9. Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité.

Chacun des acteurs cités dans le schéma de la **Figure 9** doit fournir le dossier correspondant aux études et travaux qui lui incombent **(cf. Annexe 6)**.

Les professionnels peuvent intervenir à différents niveaux de l'installation :

- installation frigorifique ;
- système frigorifique (pompe à chaleur…) ;
- ensemble frigorifique (unité de condensation, centrale de réfrigération, chiller…) ;
- composant (tuyauterie, soupape, détendeur…).

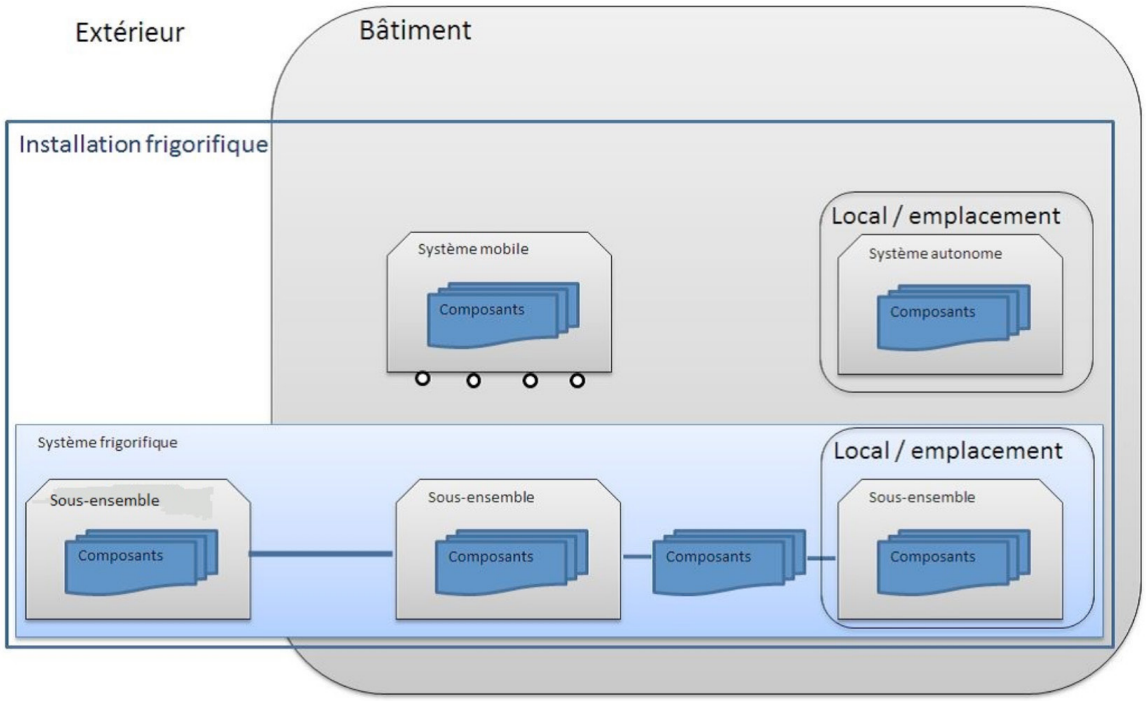


FIGURE 10 : Les différents composants d'une installation frigorifique, leurs liens et leur localisation

De plus, chacun de ces acteurs doit traiter les risques de sa phase de vie mais aussi ceux qui peuvent apparaître dans les autres phases de vie.

Exemple : le concepteur d'un système frigorifique doit s'assurer que des erreurs de conception ne vont pas provoquer des défaillances du système au moment de sa fabrication (ouvrier blessé lors d'une opération de montage d'un composant…), mais aussi plus tard en phase d'installation, d'exploitation, de maintenance ou encore en fin de vie (ouvrier blessé lors du démontage définitif). De même, la société en charge de la maintenance doit s'assurer que les risques sont maîtrisés non seulement pendant la phase de maintenance mais aussi après son intervention (en phase d'exploitation, en phase de fin de vie…).

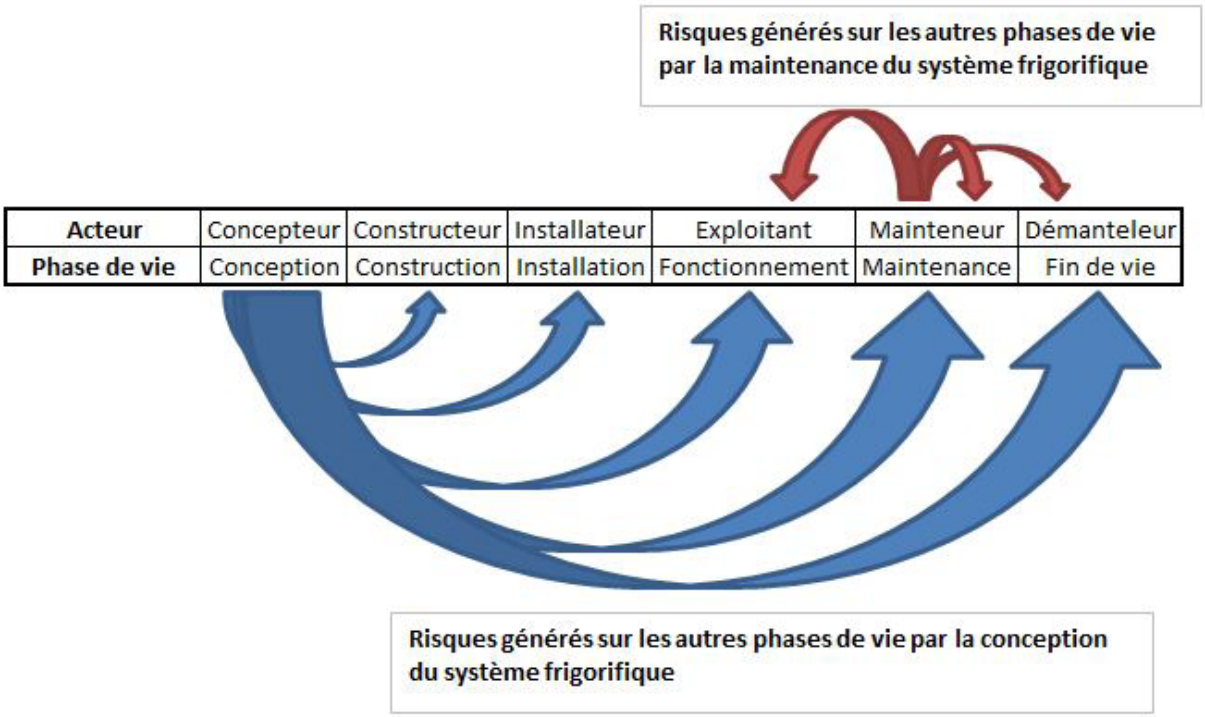


FIGURE 11 : Risques potentiels générés par les différents intervenants sur le cycle de vie

3.1.3 Le plan de réduction des risques

Pour chacun des acteurs du cycle de vie, l'analyse des risques doit aboutir à la mise en place de mesures afin de réduire les risques significatifs (plan appelé aussi « plan de maîtrise des risques ») ; ces mesures se traduisant par :

- des contraintes à respecter par l'acteur concerné ;
- la constitution d'instructions et de recommandations nécessaires que l'acteur concerné doit communiquer aux autres acteurs.

Les informations communiquées aux autres acteurs (notamment les utilisateurs) font partie des mesures de réduction d'un risque, et sont utilisées par eux pour réaliser leur propre analyse des risques.

Premier exemple : pour un fabricant d'un système frigorifique, la fiabilisation de son système pour assurer la sécurité impose des contraintes dans le choix des composants du système (phase de conception) et des contraintes également dans la mise en place de son processus de fabrication (phase de construction). Ces deux types de contraintes ayant une influence sur les défaillances qui peuvent se produire dans toutes les autres phases de vie après la fabrication.

Deuxième exemple : les instructions ou recommandations nécessaires **(cf. § 6.4.3 NF EN 378 : 2017 partie 2)** peuvent être le manuel d'instruction, la notice, la documentation technique, le document d'installation, les informations sur site, les plans d'installation, le registre, le marquage.

La finalité d'une analyse des risques est toujours d'aboutir ensuite à un plan d'action visant à réduire (voire supprimer) les risques qui sont jugés inacceptables.

Remarques :

- Ce n'est pas parce qu'un risque est couvert par une directive ou un référentiel (par exemple : l'intégration en conception d'une soupape de sécurité dans le système) qu'il ne doit pas apparaître dans l'analyse des risques. En effet, dans ce cas, le but de l'analyse des risques sera de vérifier que l'exigence de la directive a été respectée et donc que le risque a bien été traité. Pour reprendre l'exemple : le risque sera marqué comme acceptable dans le tableau d'analyse des risques une fois la vérification faite que la soupape de sécurité a bien été spécifiée avec des performances adéquates.

- La conformité à la totalité des exigences ou prescriptions de normes ou de réglementations nécessaires ne dispense pas de réaliser une analyse des risques. En effet, le respect de l'ensemble de ces prescriptions ou exigences n'est pas toujours suffisant pour garantir un niveau de risque acceptable. Par exemple pour un fabricant d'un appareil sous pression : le risque « pression » (rupture de l'enveloppe mécanique à cause d'une surpression) peut subsister malgré l'application des exigences décrites dans la directive des Équipements sous pression (en particulier lorsque ces risques n'ont pas été évalués en prenant en compte l'ensemble des phases de vie de l'appareil : la phase de transport par exemple).

Pour chaque phase de vie, le lecteur trouvera un paragraphe dédié qui récapitule sous forme d'un tableau les principales mesures de réduction du risque dont il dispose et qui sont prescrites par la norme NF EN 378 : 2017.

Attention, ce guide ne peut prétendre être exhaustif. De manière plus générale, la réduction des niveaux de risque (si elle est nécessaire) pourra être obtenue en agissant sur les facteurs modulant l'indice de criticité **(voir § 3.2 du guide)**.

3.1.4 La norme NF EN 378 : 2017 et les différents types de risques

Les risques qui doivent être considérés selon la norme NF EN 378 : 2017 sont ceux qui portent sur les personnes (technicien d'intervention, public…), les biens (d'autres systèmes frigorifiques, d'autres machines…) et l'environnement (pollution d'un milieu extérieur…). Les exemples qui sont traités par la suite ne concernent que les personnes.

Par exemple, l'analyse peut faire ressortir :

- le risque d'anoxie des personnes (possible avec le CO_2 par exemple) ;
- le risque d'inflammation (possible avec du gaz A2L par exemple) ;
- le risque d'explosion (possible avec du gaz A3 par exemple) ;
- le risque de projection d'un élément mécanique (possible avec tout gaz frigorigène mis en surpression ou sous pression) ;
- le risque de blessure au contact d'un élément mécanique agressif (arête coupante, surfaces abrasives…) ;
- le risque de blessure par inhalation d'un gaz toxique (possible avec du gaz B3 par exemple) ou simple contact avec un gaz (peau, yeux…).
- le risque de blessure par contact avec une source froide ou une source chaude ;
- le risque d'électrocution ;
- etc.

Il existe un certain nombre de pictogrammes ou de symboles sur les produits qui permettent d'identifier une catégorie de risque.

	SGH 01 : **explosif, autoréactif**
	SGH 02 : **facilement inflammable, extrêmement inflammable**
	SGH 03 : **comburant**
	SGH 04 : **gaz sous pression**
	SGH 05 : **corrosif**
	SGH 06 : **toxique** Toxicité aiguë Trois voies d'exposition Mortels, toxiques, nocifs
	SGH 07 : **irritant** Sensibilisants cutanés, toxicité spécifique pour certains organes cibles
	SGH 08 : **toxique, très toxique, nocif, irritant** Produits CMR, toxicité par aspiration, sensibilisation respiratoire, toxicité spécifique pour certains organes cibles
	SGH 09 : **dangereux pour l'environnement**

FIGURE 12 : Pictogrammes ou symboles de danger selon le règlement dit CLP relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges

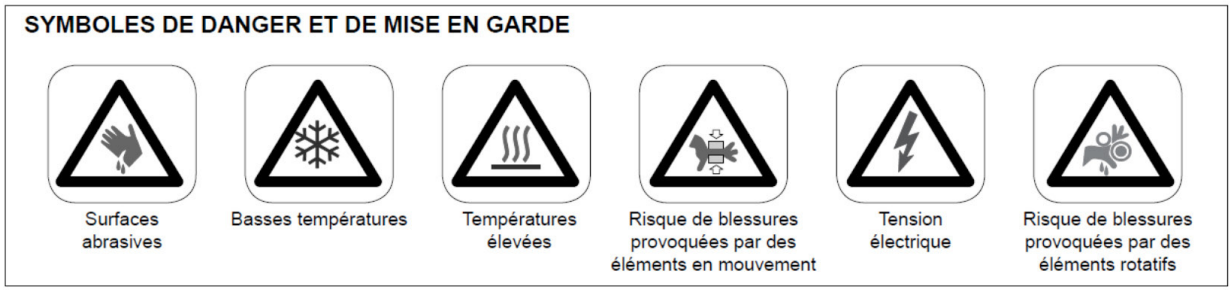


FIGURE 13 : Exemples de pictogrammes ou symboles de danger en application de la directive Machines

La norme NF EN 378 : 2017 fournit des prescriptions pour traiter les risques spécifiques aux systèmes frigorifiques, et ce en raison « *des caractéristiques physiques (pression et température)* » et « *chimiques* » des gaz frigorigènes. L'Annexe G partie 1 de la norme liste ces risques. De plus, selon l'Annexe D partie 2 de la norme : « *L'appréciation du risque doit être réalisée conformément à l'EN ISO 12100 : 2010. Les systèmes frigorifiques et leurs équipements doivent être fabriqués conformément aux principes énoncés dans l'EN ISO 12100 : 2010 pour éliminer ou réduire les risques prévisibles.* » L'appréciation et la réduction des risques correspondent à des étapes-clés du processus de gestion des risques et sont décrites au paragraphe suivant.

Pour le traitement des autres risques, la norme NF EN 378 : 2017 renvoie à la norme ISO 12100 : 2010 : « *Il convient que les machines se conforment comme appropriées avec l'EN ISO 12100 pour les risques qui ne sont pas couverts par la présente norme européenne.* »

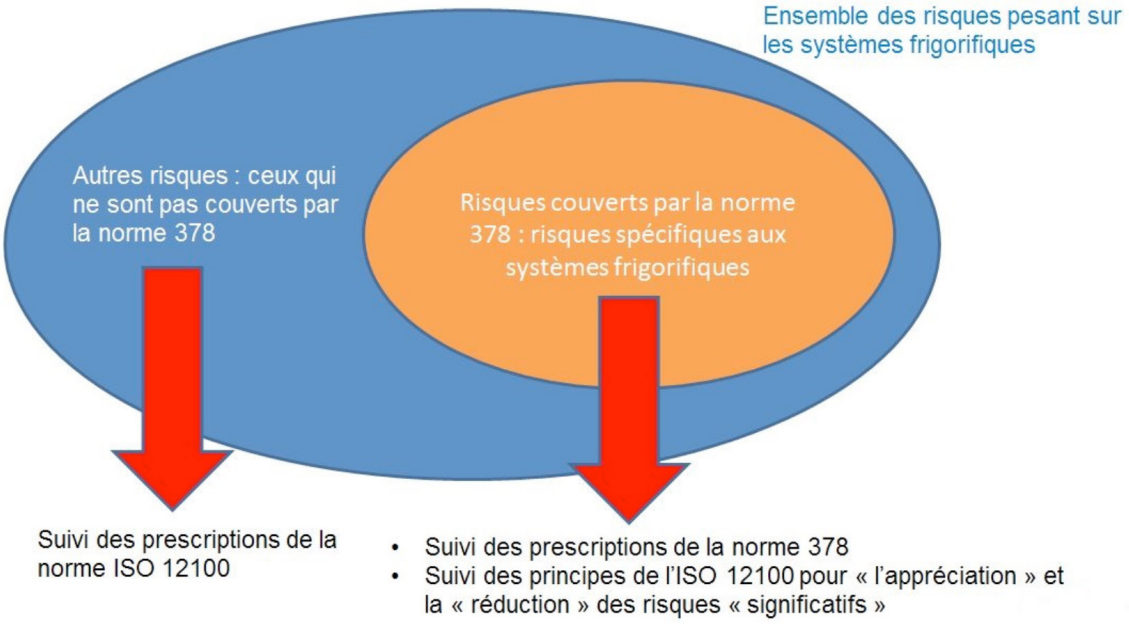


FIGURE 14 : Traitement des différents types de risques selon la norme NF EN 378 : 2017

Ainsi, tous les risques qui portent sur les personnes, les biens et l'environnement doivent être traités dans l'analyse des risques du système frigorifique. S'ils sont « significatifs », alors ils doivent être réduits selon des objectifs prédéfinis.

Les risques qui sont inhérents à l'utilisation d'un équipement électrique (exemple : électrocution suite à un défaut d'isolement...) ne sont pas traités dans la norme NF EN 378 : 2017. D'autres normes s'en chargent. En revanche, si un fluide frigorigène est impliqué dans la chaîne causale amenant à un dommage, alors il rentre dans le cadre de la norme NF EN 378 : 2017.

Exemple : la fuite d'un fluide qui s'enflamme au contact d'une surface chaude générée par un court-circuit dans un équipement électrique.

Les risques d'explosion ou d'incendie liés à des gaz inflammables sont largement traités par la norme NF EN 378 : 2017. Pour compléter son analyse des risques, le lecteur pourra s'appuyer également sur la norme IEC 60079 qui définit les zones ATEX (ATmosphères EXplosives) **(voir Annexe 5 du guide)**.

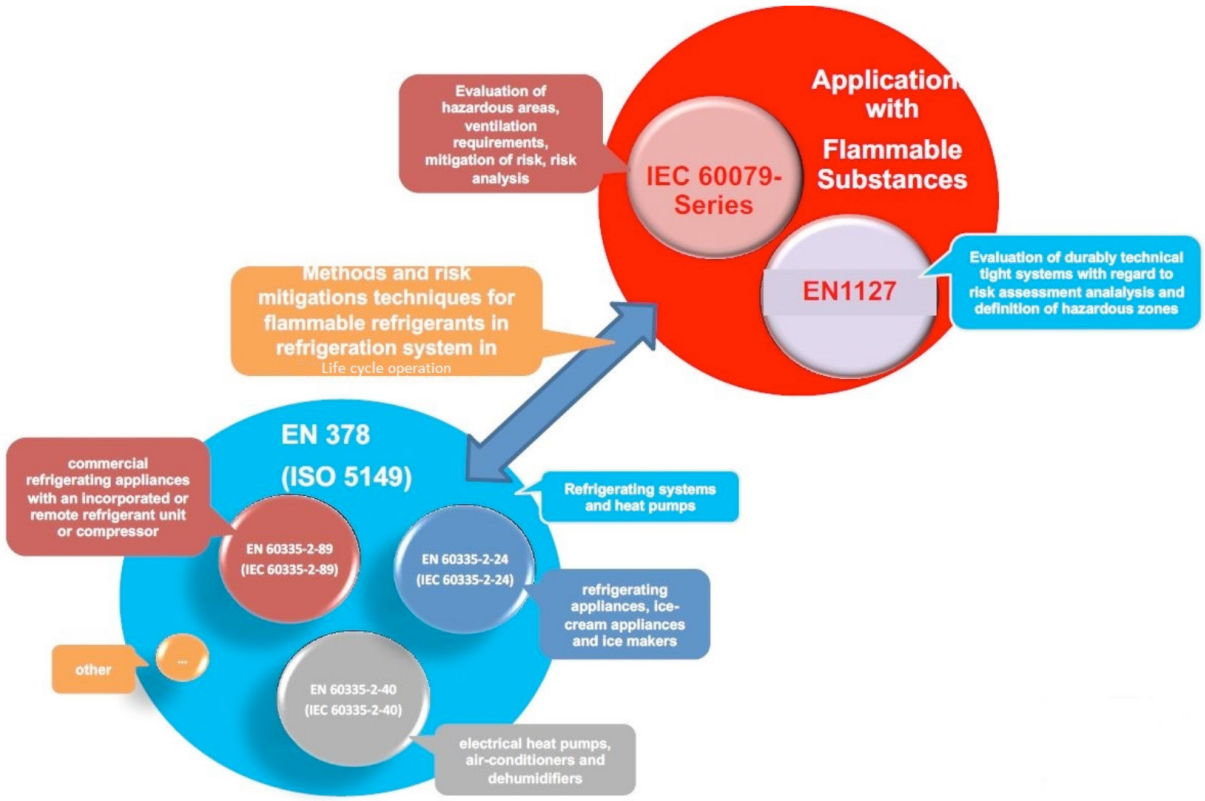


FIGURE 15 : Liens avec les normes ATEX (source CENELEC)

Les dispositions de la norme NF EN 378 : 2017 visent à éviter la « situation dangereuse »[10] que constituerait la création d'une zone dangereuse type ATEX. Il est précisé dans la norme NF EN 378 : 2017 partie 3 § 5.14.1 : « *L'évaluation selon l'EN 60079-10-1, en tenant compte de la LFL et du type de libération, peut conclure que l'étendue de la zone dangereuse est négligeable.* »

3.1.5 Les différentes étapes de l'analyse des risques

La description des étapes ci-dessous se base largement sur la norme NF EN ISO 12100 : 2010 qui est citée en référence par la norme NF EN 378 : 2017 pour traiter les risques autres que ceux décrits dans l'**Annexe G** de la partie 1.

10. Situation dangereuse au sens où elle est expliquée **Figure 18**.

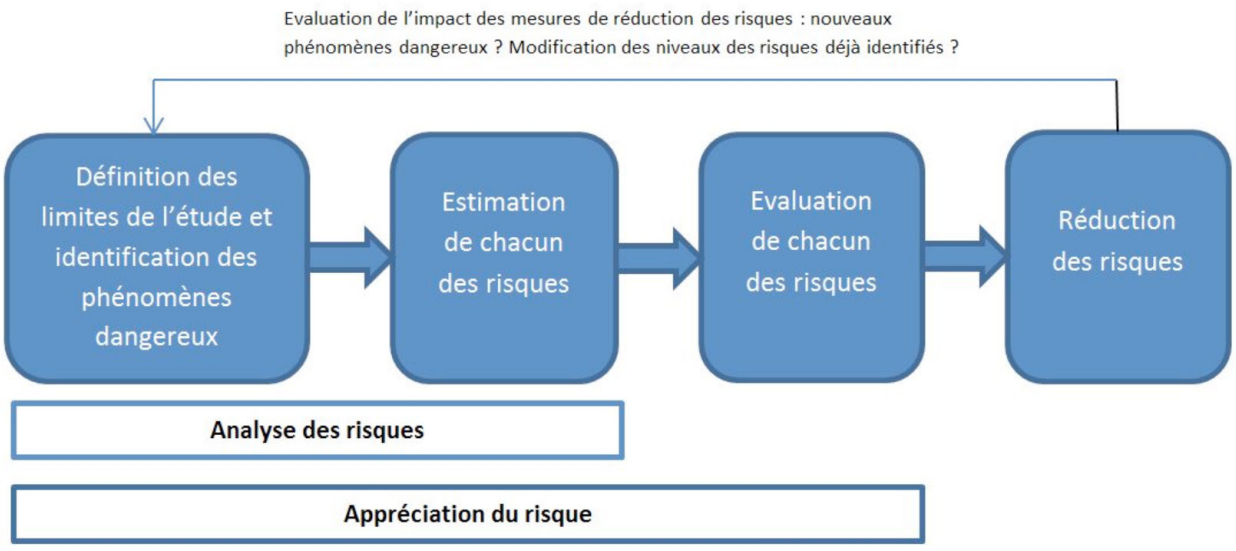


FIGURE 16 : Schéma simplifié du processus de gestion des risques suivant la norme NF EN ISO 12100 : 2010

Au sens strict du terme, l'analyse des risques ne constitue qu'une partie des activités d'un processus plus général appelé « gestion des risques ». Ce processus possède des données d'entrée et génère des données de sortie.

FIGURE 17 : Données d'entrée et de sortie du processus de gestion des risques (non exhaustif)

Étape 1 : définition des limites de l'étude et identification des phénomènes dangereux

La définition rigoureuse du périmètre d'étude est importante car elle conditionne les phénomènes dangereux qui seront identifiés. L'identification d'un phénomène dangereux est le point de départ d'un scénario qui aboutit au dommage. Pour établir rigoureusement ce scénario, ce guide s'est basé sur un modèle reconnu[11] décrit ci-dessous **Figure 18**.

Exemple : l'étude porte sur la conception d'un compresseur. Celui qui réalise l'analyse des risques doit définir si les interfaces de ce compresseur (supports, câblage...) sont incluses ou pas dans l'étude. Les responsabilités juridiques en jeu sont un des éléments qu'il convient de prendre en compte.

11. Ce guide se base sur le même modèle que celui utilisé dans la norme ISO 12100 : 2010.

La norme NF EN 378 : 2017 cite les termes de « phénomène dangereux » et de « situation dangereuse » qui permettent de décrire le scénario aboutissant au dommage :

- Le « phénomène dangereux » est une source potentielle de dommage.
- La « situation dangereuse » est une situation dans laquelle les personnes, les biens et l'environnement sont exposés au phénomène dangereux.
- Le « dommage » décrit les conséquences potentielles d'une situation dangereuse sur les personnes, les biens et l'environnement.

Dans le modèle choisi, la survenue de la situation dangereuse est conditionnée par l'apparition d'une première cause. Ensuite, suivant les cas, il n'est pas nécessaire qu'une seconde cause spécifique apparaisse pour aboutir au dommage. Celui qui définit le scénario pourra considérer que la situation dangereuse engendre systématiquement le dommage. La norme NF EN ISO 12100 : 2010 considère que la présence d'une situation dangereuse engendre tôt ou tard l'apparition du dommage. L'exemple d'analyse des risques donné en phase de vie conception **(cf. § 4.2)** fait cette hypothèse.

Le phénomène dangereux peut facilement être confondu avec une première ou une éventuelle seconde cause. De manière générale, un phénomène dangereux est une entité intrinsèquement dangereuse pour les personnes, les biens et l'environnement. L'**Annexe 1** donne une liste de phénomènes dangereux classés par types ainsi que des scénarios typiques.

Exemple : dans ce guide, une « soudure mal réalisée » n'est pas un phénomène dangereux car elle n'est pas, en elle-même, dangereuse pour les personnes, les biens et l'environnement. En revanche, c'est une cause amenant à une situation dangereuse (fuite d'un fluide). Si le terme « soudure mal réalisée » sous-tend qu'elle est intrinsèquement dangereuse pour une personne (par exemple : une arête coupante), alors elle devient un phénomène dangereux (un « élément coupant » selon le **tableau B.2** de la norme NF EN ISO 12100 : 2010).

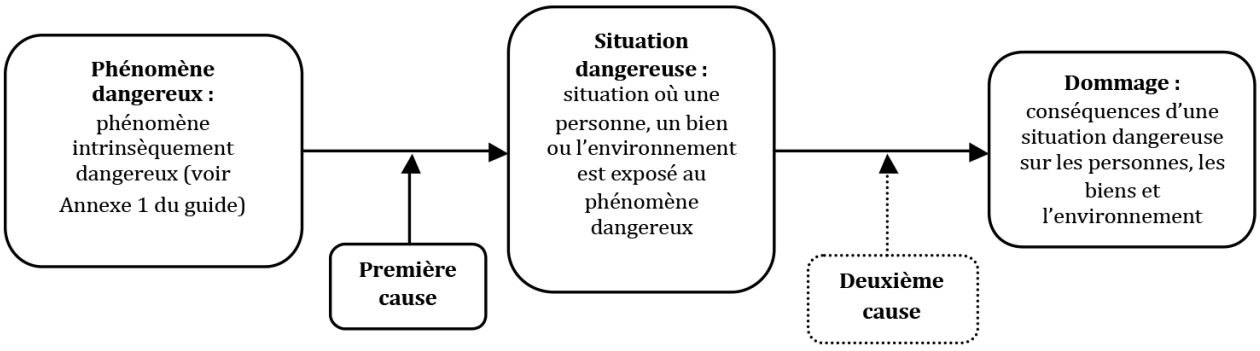


FIGURE 18 : Représentation d'un scénario allant du phénomène dangereux au dommage

Deux exemples de scénarios sont décrits ci-dessous. Pour le premier exemple (l'inflammation), cinq leviers possibles (voir les rectangles numérotés en rouge) sont identifiés à l'aide du modèle pour éviter l'apparition du dommage. Ces leviers seront décrits plus en détail à l'étape 4 qui consiste à réduire ou supprimer les risques significatifs.

Premier exemple : risque d'inflammation

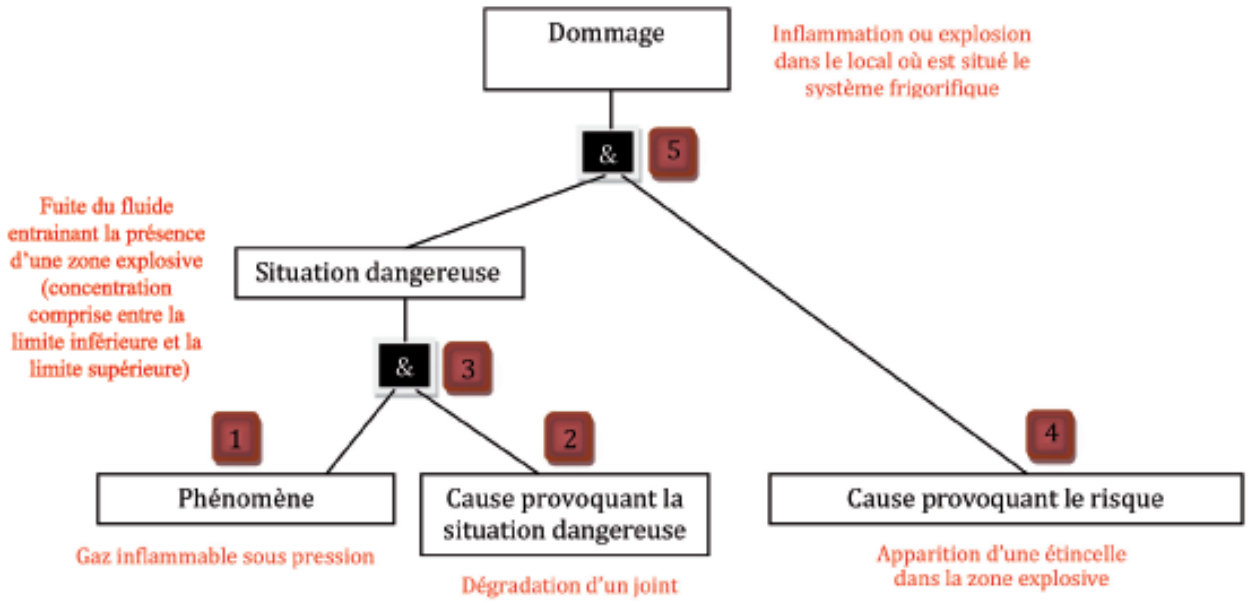


FIGURE 19 : Exemple d'un scénario amenant à une inflammation

Deuxième exemple : risque d'intoxication

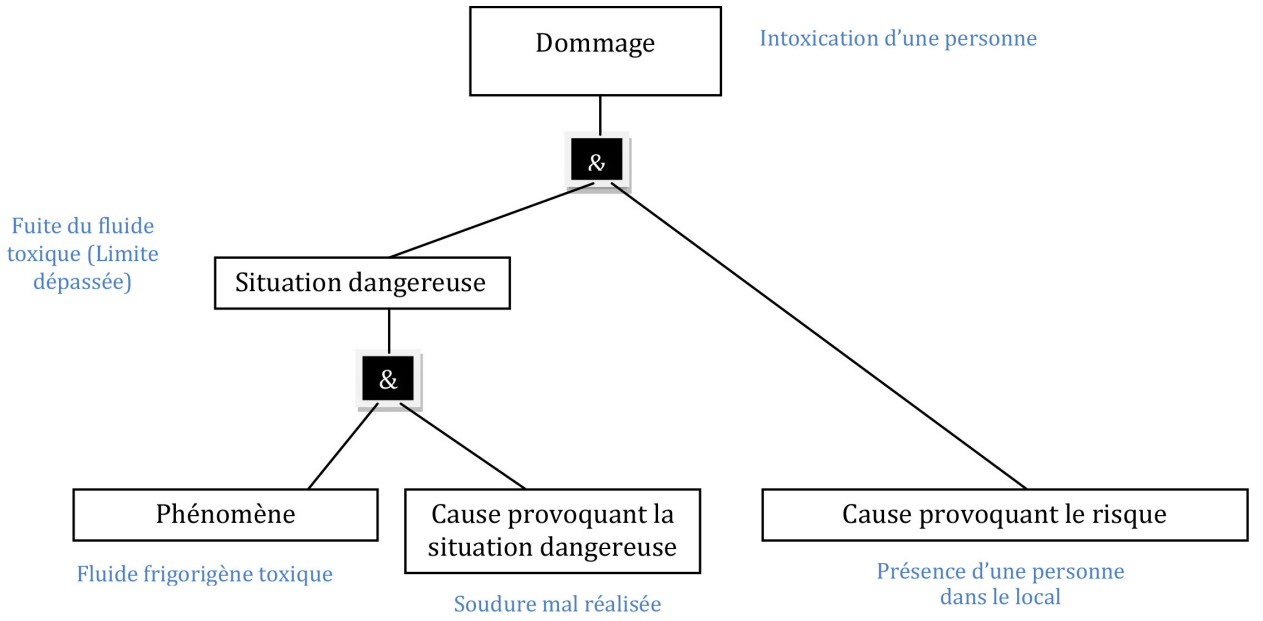


FIGURE 20 : Exemple d'un scénario amenant à une intoxication

La norme NF EN 378 : 2017 propose des exemples de phénomènes dangereux, situations dangereuses et dommages qui ont été synthétisés dans l'**Annexe 1** :

- Dans l'Annexe D partie 2 : liste de phénomènes dangereux ;
- Dans l'Annexe G partie 1 : liste de dommages pesant sur les systèmes frigorifiques ;
- Dans l'Annexe K partie 2 : liste de sources d'inflammation.

L'**Annexe 2** du guide propose des causes typiques provoquant l'apparition de la situation dangereuse « fuite du fluide frigorigène ».

Étape 2 : estimer les risques identifiés

Estimer un risque consiste à définir l'occurrence et la gravité du dommage associé à chaque couple situation dangereuse/phénomène dangereux.

Un objectif important de la norme NF EN 378 : 2017 est de fournir au concepteur les facteurs-clés qui modulent ces deux paramètres. Ils sont abordés de façon plus détaillée au § 3.2 de ce guide.

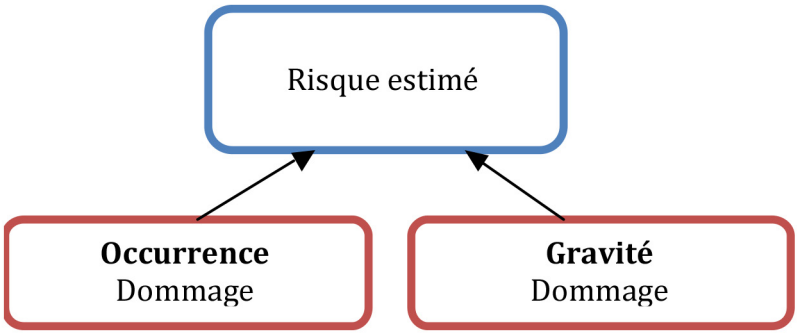


FIGURE 21 : Estimation d'un risque

L'occurrence peut être cotée à partir d'une échelle numérique ou non numérique. Il en est de même pour l'indice de gravité.

Exemple d'échelle numérique pour l'occurrence : une échelle allant de 1 à 4 ; 1 correspondant à une probabilité d'apparition quasi nulle et 4 à une probabilité importante d'apparition.

Exemple d'échelle non numérique pour l'occurrence : « fréquent », « probable », « occasionnel », « peu probable », « improbable ».

Le **tableau ci-dessous** est un extrait de la norme pour les fluides frigorigènes les plus utilisés. Il peut aider à définir la gravité d'un risque.

	Faiblement toxique		Fortement toxique	
	Classe	Exemples de fluides	Classe	Exemples de fluides
Hautement inflammable	A3	R290, R600a	B3	NC
Faiblement inflammable	A2	R152a	B2	NC
Légèrement inflammable	A2L	R32, R1234ze	B2L	R717 (NH_3)
Non inflammable	A1	R134a R744 (CO_2)	B1	NC

FIGURE 22 : Tableau extrait de la norme NF EN 378 : 2017

Il existe différents outils pour estimer les risques. La norme ISO 14121-2, qui est citée en référence par la norme NF EN ISO 12100 : 2010, décrit la plupart de ces outils. Dans ce guide, deux possibilités sont montrées : une matrice de risque et un niveau de criticité **(cf. § 7.3 et Annexe 4 du guide)**.

Étape 3 : évaluation des risques

L'évaluation des risques doit permettre d'atteindre deux objectifs :

- Décider quels sont les risques qui doivent être réduits.
- Si des réductions des risques sont mises en œuvre, vérifier qu'elles n'introduisent pas de phénomènes dangereux supplémentaires ou n'augmentent pas le niveau des autres risques.

Exemple : dans la **Figure 23** ci-dessous, la zone en gris de la matrice de risque définit la zone où le risque est inacceptable. Si c'est le cas, alors il doit être réduit de manière à ce que le risque résiduel (c'est-à-dire après application d'une mesure de réduction du risque) soit acceptable.

		Gravité du risque				
		Négligeable	**Mineur**	**Grave**	**Critique**	**Catastrophique**
Occurrence du risque	Fréquent					
	Probable					
	Occasionnel					
	Peu probable					
	Improbable					

Légende :

	Risque inacceptable
	Risque acceptable

FIGURE 23 : Exemple d'une matrice de risque définissant les risques acceptables ou non acceptables

Le ou les critères d'acceptabilité du risque ne sont pas fixés par la norme NF EN 378 : 2017. En revanche, il est nécessaire que des règles précises qui établissent si un risque doit être réduit soient prédéfinies. C'est à l'entreprise de les édicter.

Le respect des prescriptions de la norme a justement pour objectif de réduire l'ensemble des risques à des niveaux acceptables. Toutefois, cela n'est pas toujours suffisant et c'est la raison pour laquelle il est nécessaire de réaliser une analyse des risques.

Étape 4 : réduire les risques

Si un risque n'est pas acceptable, il faut le réduire par la mise en œuvre d'actions de réduction du risque. L'ensemble des actions de réduction des risques est appelé « plan de maîtrise des risques ».

Pour réduire le niveau d'un risque, il est possible de procéder de deux façons :

- diminuer la fréquence du risque ;
- diminuer la gravité du risque.

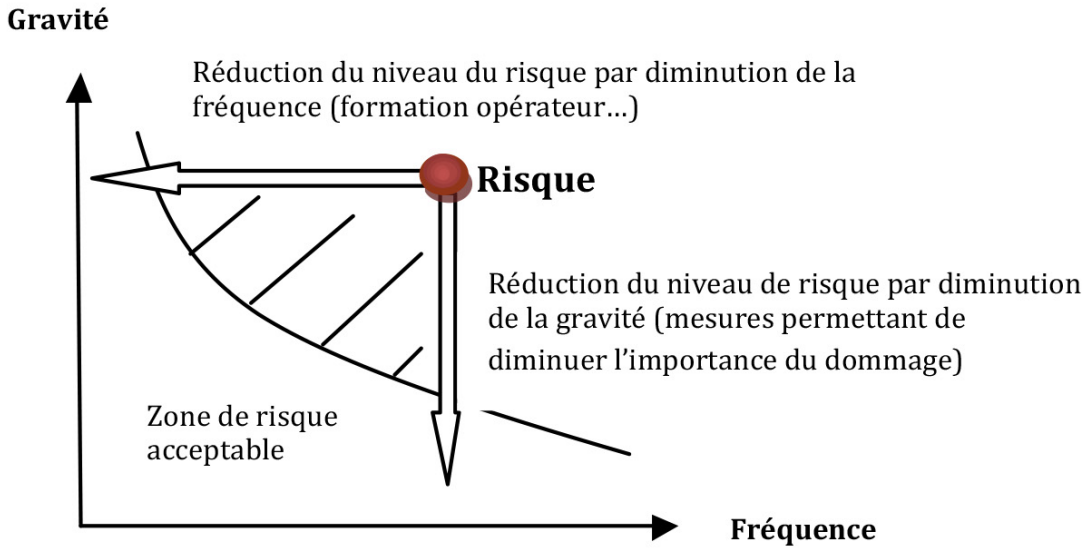


FIGURE 24 : Les deux types de possibilités permettant de réduire un niveau de risque

Suivant le schéma de la **Figure 18**, les leviers d'action possibles pour diminuer l'occurrence du risque sont :

- Supprimer ou limiter l'apparition des causes amenant à la situation dangereuse :
  - présence d'un phénomène dangereux ;
  - présence d'une ou de plusieurs causes provoquant le passage dans la situation dangereuse.
- Éviter que la combinaison du phénomène dangereux et d'une cause amène à la situation dangereuse.
- Supprimer ou limiter l'apparition des causes faisant passer de la situation dangereuse au dommage.
- Éviter que la combinaison de la situation dangereuse et d'une cause provoque le dommage.

En revanche, il n'est pas toujours possible de réduire la gravité d'un dommage. Par exemple, s'il s'agit de l'« Hypoxie d'une personne ».

Exemples de mesures diminuant l'occurrence du risque et issues de la Figure 19 :

- Levier n° 1 : remplacer le fluide frigorigène par un autre fluide qui présente moins de danger.
- Levier n° 2 : utilisation d'un joint adapté (amélioration de la fiabilité du joint).
- Levier n° 3 : prévoir un renouvellement d'air pour éviter de dépasser la limite inférieure d'inflammabilité.
- Levier n° 4 : supprimer toutes les sources d'étincelles dans le local (consignes aux intervenants, couper l'alimentation électrique avant toute intervention...).
- Levier n° 5 : utilisation d'une alarme déportée ou mesure de protection (équipement de protection individuel pour le cas de l'inflammation avec un vêtement adapté, équipement de protection collectif...).

L'Annexe D de la norme NF EN 378 : 2017 partie 2 précise que : « *L'appréciation du risque doit être réalisée conformément à l'EN ISO 12100 : 2010. Les systèmes frigorifiques et leurs équipements doivent être fabriqués conformément aux principes énoncés dans l'EN ISO 12100 pour éliminer ou réduire les risques prévisibles.* »

Quels sont ces principes ? La norme EN ISO 12100 (orientée « machines » au sens de la directive qui porte le même nom) liste les mesures de réduction des risques selon leur priorité et l'acteur concerné :

- « le fabricant » (la société qui commercialise la machine) ;
- ou « l'utilisateur » (la société qui achète la machine et les opérateurs, c'est-à-dire ceux qui sont censés être en contact avec la machine).

Le fabricant couvre les phases de vie « conception » et « fabrication ». L'utilisateur couvre toutes les autres phases de vie. Par exemple, les « opérateurs » peuvent appartenir à la société qui a acheté la machine (phase de vie « fonctionnement ») mais être aussi du personnel extérieur de maintenance (phase de vie « maintenance »).

Concernant le fabricant : les trois types de mesures sont :

- 1. Les « mesures de prévention intrinsèque » : « *Mesures qui modifient la conception ou des caractéristiques de fonctionnement de la machine et sans faire appel à des moyens de protection, élimine des phénomènes dangereux ou réduit le risque lié à ces phénomènes.* » Par exemple : spécifier l'utilisation d'un composant plus fiable.
- 2. Les « mesures de protection » : « *Mesures de prévention faisant appel à des moyens de protection pour préserver les personnes des phénomènes dangereux qui ne peuvent raisonnablement être éliminés, ou des risques qui ne peuvent être suffisamment réduits par l'application de mesures de prévention intrinsèque.* » Par exemple : alarmes, détecteurs de fuite, équipements de protection individuelle, barrière physique de protection.
- 3. Les « informations pour utilisation » : « *Mesures de prévention qui consistent en des messages (textes, mots, signes, signaux, symboles, diagrammes) utilisés séparément ou associés entre eux pour transmettre des informations à l'utilisateur.* »

Schématiquement, le risque doit d'abord être éliminé en supprimant le phénomène dangereux qui lui est attaché. Si cela n'est pas possible, alors il faut réduire le risque par une ou plusieurs mesures de prévention intrinsèque. Si la réduction du niveau de risque n'est pas suffisante, il convient de compléter les mesures déjà prises par une ou plusieurs mesures de protection. Si ces nouvelles mesures ne sont pas suffisantes, alors il faut compléter les mesures déjà prises par d'autres mesures visant à informer les utilisateurs. Enfin, à chaque fois qu'une mesure de réduction du risque est prise, il est nécessaire de vérifier qu'elle n'induit pas l'apparition d'un nouveau phénomène dangereux (ou qu'elle n'augmente pas le niveau d'un risque). Si c'est le cas, le processus s'applique alors comme si c'était un nouveau risque. Il y a donc un ordre de priorité parmi les mesures de réduction du risque.

Exemple : un risque lié à une situation dangereuse de fuite d'un fluide frigorigène est identifié par le concepteur d'un système frigorifique car le fluide est toxique. La première mesure qu'il doit envisager est la suppression du fluide toxique pour le remplacer par un autre qui n'est pas dangereux (ou moins dangereux). Si cela n'est pas possible, il doit privilégier une mesure de prévention intrinsèque (typiquement l'amélioration de la fiabilité d'un composant qui diminue la probabilité d'avoir une fuite). D'une part, si l'on considère pour l'exemple que cette mesure n'est pas suffisante pour réduire le risque (cas 1) ; d'autre part, qu'il existe une mesure de protection qui permet à elle seule de réduire suffisamment le risque, alors une erreur serait de retenir comme mesure unique de réduction du risque la mesure de protection (cas 2). Dans ce cas, le concepteur

doit mettre en œuvre la mesure qui améliore la fiabilité du composant et également la mesure de protection (cas 3). Cette dernière peut être ajustée pour amener le risque à un niveau acceptable.

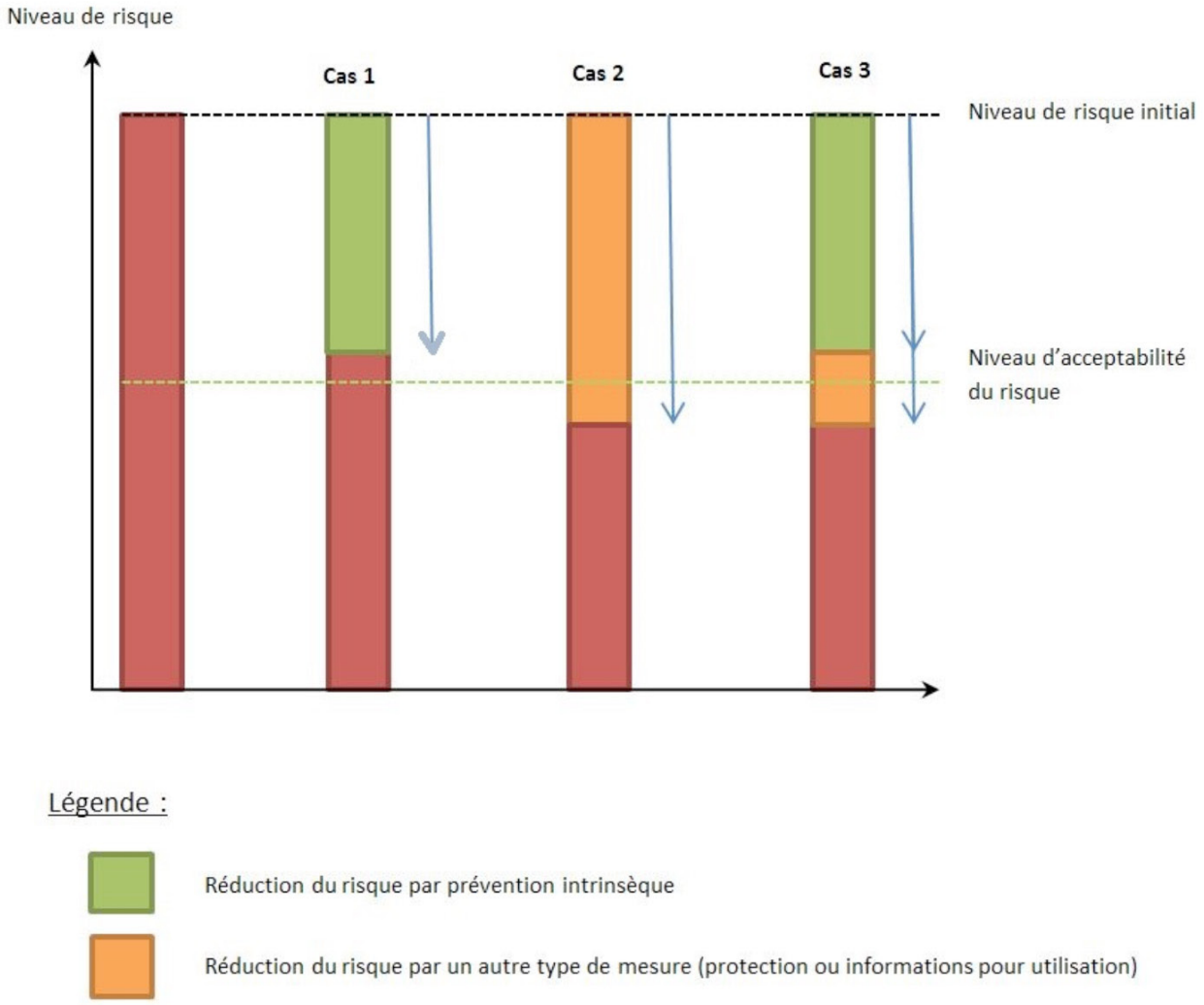


FIGURE 25 : Différents cas possibles de réduction du niveau de risque

Concernant l'utilisateur : les quatre types de mesures portent :

- sur l'organisation (méthodes de travail, surveillance et mise en place du système du permis de travail) ;
- sur la fourniture et l'utilisation de moyens de protection supplémentaires ;
- sur l'utilisation d'équipements de protection individuelle ;
- sur la formation.

Cette fois, la norme NF EN ISO 12100 ne hiérarchise pas ces mesures. Certaines sont de toute façon imposées par le Code législatif du travail.

Étape 5 : suivi du plan de maîtrise des risques et réalisation du bilan

Le processus de maîtrise des risques est un processus continu qui nécessite un suivi du plan de maîtrise des risques tout au long de la vie du système frigorifique (de sa conception jusqu'à la

mise au rebut de tous les systèmes). Le retour d'expérience doit être pris en compte (réévaluation de la fréquence d'un risque, efficacité des mesures de réduction du risque, apparition de nouveaux phénomènes dangereux non prévus initialement…). Ce processus reste actif jusqu'à ce que les systèmes aient été mis au rebut.

Si une mesure de maîtrise du risque n'est pas suffisamment efficace, une nouvelle mesure doit être prise. Enfin, une action de maîtrise d'un risque peut elle-même induire l'apparition d'un nouveau risque. Dans ce cas, il doit être traité également.

Exemple : dans la phase de conception, une mesure de réduction du risque peut consister à changer la nature d'un matériau pour obtenir une meilleure résistance mécanique. Toutefois, ce nouveau matériau peut être sensible à d'autres phénomènes (corrosion, compatibilité avec d'autres matériaux…).

3.2 Facteurs modulant le niveau de risque dans l'analyse des risques

3.2.1 Généralités

Les facteurs suivants sont abordés par la norme NF EN 378 : 2017 et constituent des données d'entrée pour réaliser l'analyse des risques. En effet, pour chaque risque considéré, ils peuvent moduler (à la baisse ou à la hausse) le niveau de risque. Certains peuvent diminuer ou augmenter la probabilité d'apparition du risque et/ou sa gravité.

Comme il est rappelé dans les tableaux « principales mesures de réduction du risque apportées par la norme » du guide, la conformité à la réglementation, et en particulier aux directives PED et Machines, est un moyen de réduire les risques.

3.2.2 La catégorie d'accès et les utilisations de tout ou partie du système frigorifique

La catégorie d'accès prend en compte la qualification des personnes qui peuvent être directement affectées en cas de défaillance du système frigorifique et impacte le nombre de personnes ayant accès aux systèmes frigorifiques. Plus l'accès est libre aux personnes fréquentant l'établissement, plus la criticité d'un risque est importante.

Exemple : la catégorie « a » est au départ la plus susceptible de générer des dommages graves. Et c'est la raison pour laquelle les exigences sont les plus sévères.

a Accès général	b Accès surveillé	c Accès réservé
Pièces, parties de bâtiment, bâtiments où : ◗ des installations de couchage sont prévues ; ◗ des personnes sont limitées dans leurs mouvements ; ◗ un nombre incontrôlé de personnes sont présentes ; ◗ quiconque a accès sans personnellement être au courant des mesures de sécurité nécessaires.	Pièces, parties de bâtiment, bâtiments où seul un nombre limité de personnes peuvent se rassembler, certaines étant nécessairement au courant des mesures générales de sécurité de l'établissement	Pièces, parties de bâtiment, bâtiments où n'ont accès que des personnes autorisées qui sont au courant des mesures générales et spéciales de sécurité de l'établissement et où la fabrication, le traitement ou le stockage du matériel ou des produits sont faits sur place

☞

a Accès général	b Accès surveillé	c Accès réservé
Hôpitaux, cours d'école, prisons, théâtres, supermarchés, salles de conférence, gares de transport, hôtels, habitations, restaurants	Bureaux d'affaires ou professionnels, laboratoires, locaux de fabrication générale et où des personnes travaillent	Locaux de fabrication, par exemple de produits chimiques, de produits alimentaires, de boissons, de glace, de crème glacée, raffineries, entrepôts frigorifiques, laiteries, abattoirs et zones non accessibles au public dans les supermarchés

FIGURE 26 : Extrait du tableau des catégories d'accès (norme NF EN 378 : 2017 partie 1)

3.2.3 Le fluide frigorigène

Selon le type de fluide utilisé, la gravité des risques encourus est différente.

Exemple : plus le fluide est toxique et/ou inflammable, plus la gravité est importante. La norme NF EN 378 : 2017 classifie les fluides frigorigènes en fonction de leur degré de dangerosité **(cf. NF EN 378 : 2017 partie 1 Annexe E)**.

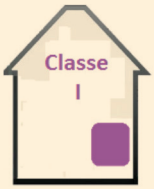
Remarque : comme indiqué en avant-propos (limite du guide et avertissements), il est possible à chaque étape du cycle de vie du système frigorifique de se conformer à toutes les réglementations applicables même si le fluide frigorigène n'est pas encore mentionné dans l'Annexe E de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1. Le guide fournit un exemple au § 4.3 avec le fluide frigorigène R455A.

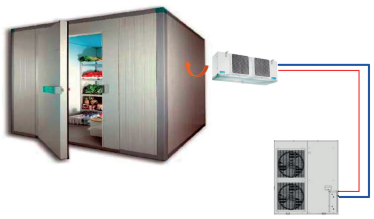
3.2.4 L'emplacement du système frigorifique

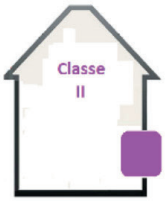
Selon l'emplacement dans lequel se situe tout ou partie du système frigorifique, la fréquence et la gravité d'un risque seront différentes.

Exemple : une fuite d'un fluide frigorigène aura des conséquences différentes si elle se produit dans un espace confiné ou ventilé. Si le scénario retenu amène à l'intoxication d'une personne (c'est le risque), alors l'utilisation d'un espace suffisamment ventilé permet de réduire la fréquence du risque. La norme NF EN 378 : 2017 parle d'enceinte ventilée.

Avertissement : la mise en œuvre ou pas de certaines dispositions peut modifier la classe d'emplacement et la classe du système par rapport aux exemples du **tableau ci-dessus**. Par exemple, un système indirect fermé en classe I ou II peut passer en classe III après ajout d'un organe de purge déchargeant vers l'extérieur **(cf. § 5.5.2.1 et § 5.5.2.2 de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1)**.

<table>
<tr>
<td>Réfrigération
Cave à vin, Armoire réfrigérée
 </td>
<td>Toutes les parties du système sont dans l'espace occupé
 

Meuble frigorifique de vente autonome (MFV)</td>
<td>Climatisation
Climatiseur mobile
 </td>
</tr>
<tr>
<td>Chambre froide de petite surface
 

Roof top</td>
<td>Une partie du système est à l'extérieur, l'autre à l'intérieur d'un local technique (compresseurs, bouteille)
 

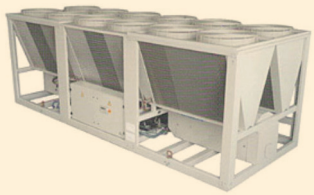
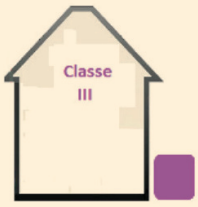
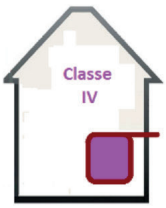
Climatisation chauffage</td>
<td>
Centrale de production frigorifique</td>
</tr>
<tr>
<td> 
Pompe à chaleur (PAC) Climatisation chauffage</td>
<td>Toutes les parties du système sont dans le local technique ou à l'extérieur
 
</td>
<td>
Groupe d'eau glacée Climatisation</td>
</tr>
<tr>
<td>Concept d'armoire ventilée
 
</td>
<td colspan="2">Produit de conception spéciale</td>
</tr>
</table>

FIGURE 27 : Emplacement des systèmes avec réfrigérant : exemple de base

Remarque : un Roof top (système direct à conduit), bien qu'étant à l'air libre, est en catégorie d'accès c (accès réservé) et en emplacement classe II **(voir § 5.5.1.3 norme NF EN 378 : 2017 partie 1)**.

3.2.5 La classification du système frigorifique

L'architecture des systèmes frigorifiques est définie par différents types (système indirect, direct, indirect à haute pression…) et modifie la criticité des risques. La norme NF EN 378 : 2017 traite différemment ces architectures pour tenir compte de cette criticité.

Exemple : la norme adapte les quantités de fluide et/ou les organes de sécurité en fonction de l'architecture des systèmes.

3.2.6 La quantité de fluide frigorigène

La gravité du risque est d'autant plus sérieuse que la charge est importante. Suivant la combinaison des facteurs cités dans les paragraphes précédents, la charge de fluide peut être déterminante. Il s'agit d'éviter de créer dans le bâtiment ou le local une zone potentiellement dangereuse **(voir norme NF EN 378 : 2017 partie 2 § 6.2.14)** ou impropre à la présence humaine (toxicité, anoxie).

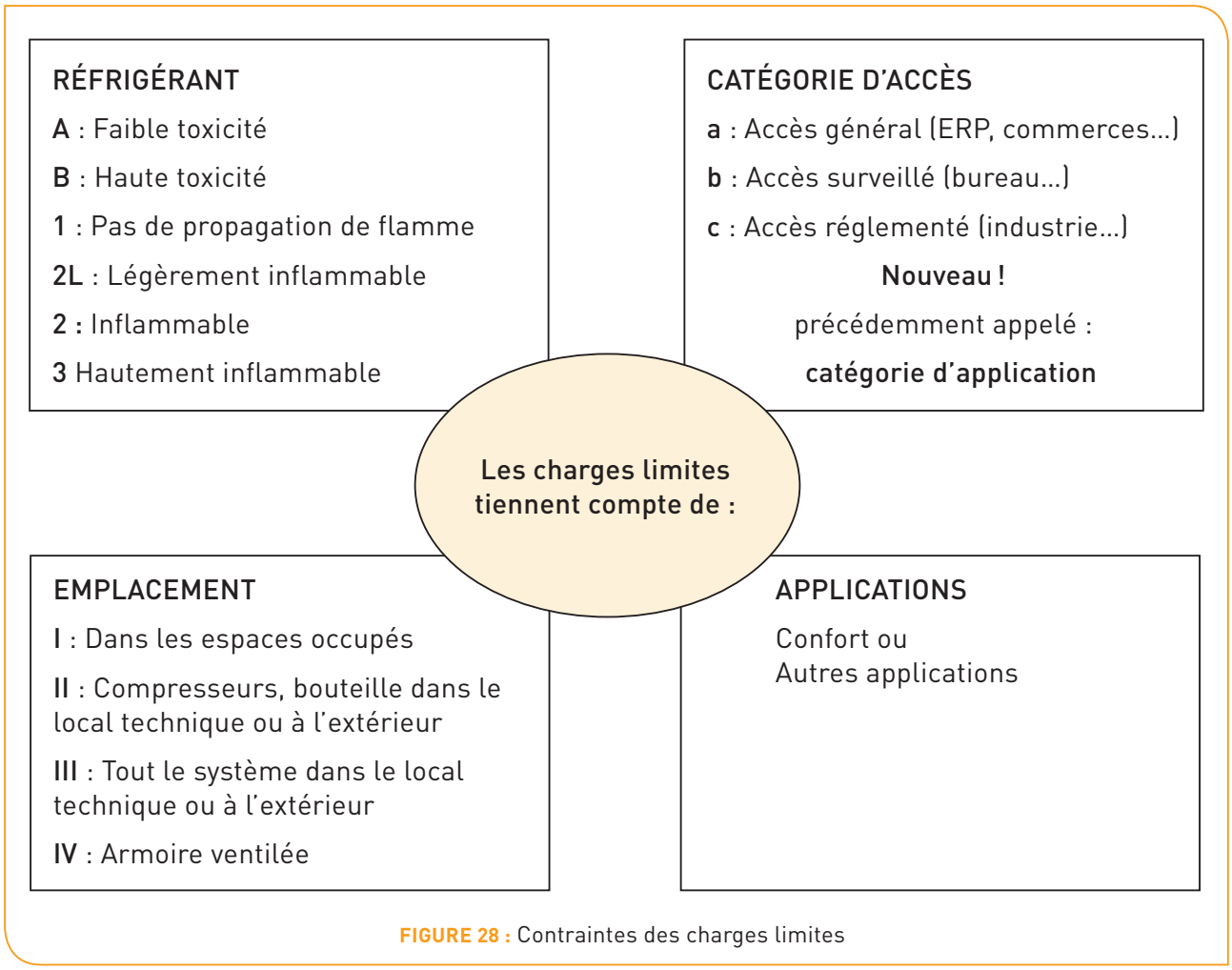


FIGURE 28 : Contraintes des charges limites

Pour chaque étape de la vie du système frigorifique et des éléments le constituant, il faudra même dans certains cas prendre en compte la charge du système existant et/ou celle de ses

extensions futures. La norme NF EN 378 : 2017 **(partie 1 § 6 et Annexe C)** fournit des limites et dispositions pour réduire et/ou gérer les risques liés à la charge du système.

Les intervenants concernés (par exemple celui réalisant la maintenance...) devront prendre en compte la charge de fluide.

Règles de base pour le calcul de la charge limite : la limitation de la charge est une mesure de réduction du risque imposée par la norme NF EN 378 : 2017. Sa quantité est liée aux autres facteurs. La prise en compte pertinente de l'impact respectif de ces facteurs permettra d'établir la limite de charge conformément à la norme NF EN 378 : 2017 **(partie 1 point 6 et Annexe C)** afin de réduire le risque. La charge du système ne devra pas dépasser cette limite.

Les quelques explications ci-après qui aideront le lecteur dans l'application de la norme seront adaptées par l'intervenant en fonction de ses contraintes.

Les données d'entrée collectées (voir les différents paragraphes concernés pour chaque phase de vie) sont utilisées conformément au principe défini dans l'**Annexe C** de la partie 1 résumé ci-dessous :

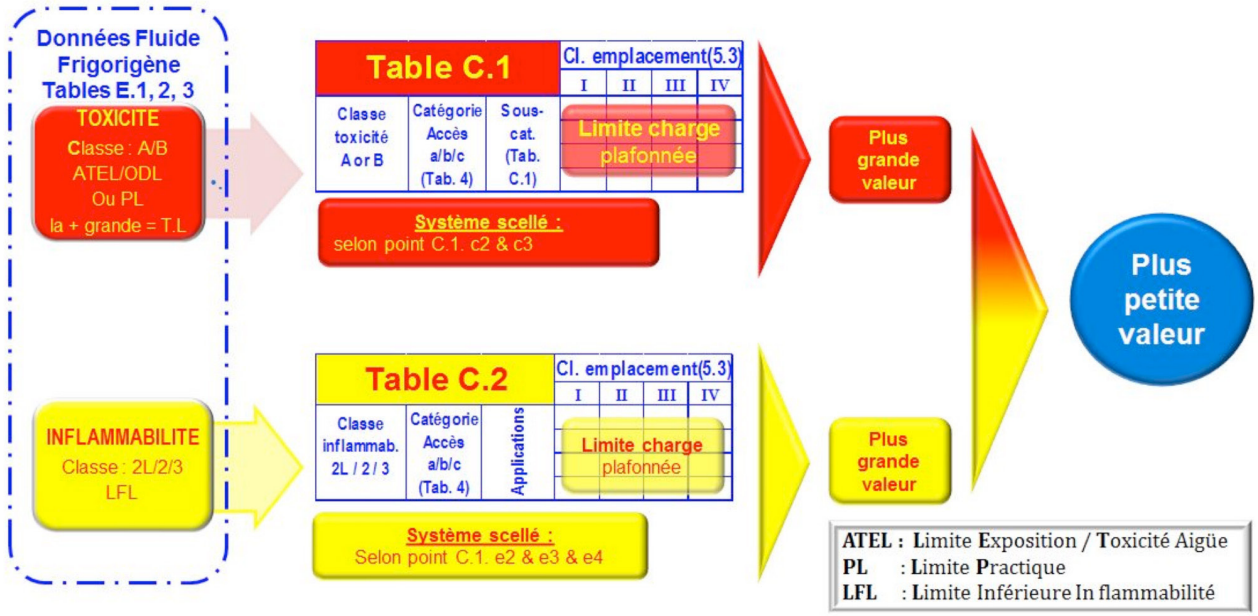


FIGURE 29 : Résumé des règles de base pour établir la limite de charge, NF EN 378 : 2017 partie 1 – Annexe C

Exemple : pour les refroidisseurs de liquide et PAC monobloc en salle des machines ou à l'extérieur, il n'y a généralement pas de limite de charge car leur emplacement est de classe III correspondant aux systèmes indirects fermés **(NF EN 378 : 2017 partie 1 § 5.3)**.

Les **tableaux C.1 et C.2** sont particulièrement importants car ils indiquent dans quels cas il est possible d'adapter le calcul de la charge limite en adoptant les dispositions particulières décrites dans les **Annexes C.2 et C.3** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 pour les cas spécifiques.

Avertissement : la norme donne des indications concernant la communication entre locaux, faux plafonds et le calcul des volumes pris en compte pour définir les limites de charge (les portes détalonnées par exemple). Il est de la responsabilité du concepteur de l'installation, de l'installateur et ensuite de l'exploitant de s'assurer que la communication réelle entre les volumes est bien celle attendue par la norme et qu'elle est maintenue dans le temps.

3.2.7 Le niveau de risque de la zone dans le bâtiment

Il faut tenir compte des phénomènes extérieurs au système frigorifique et situés dans le bâtiment. La norme ne les liste pas, mais celui qui réalise l'analyse des risques devra tenir compte des phénomènes identifiés, extérieurs au système qui pourraient générer des forces ou agressions extérieures. Le § 6.2.1 de la norme NF EN 378 : 2017 partie 2 en mentionne quelques-uns à titre d'exemple mais ce sera au concepteur, à l'installateur et à l'exploitant du système de les identifier avec le concepteur, l'exploitant ou le propriétaire du bâtiment.

Exemple : la présence d'un atelier émettant des vapeurs corrosives (salines, acides, etc.) dans la zone du bâtiment et qui pourraient se trouver au contact du système.

Exemple : l'atmosphère corrosive dans les chambres de fermentation du pain peut induire une corrosion prématurée des évaporateurs. L'occurrence du risque est augmentée par rapport à une atmosphère neutre.

3.2.8 Les risques de la zone dans laquelle se situe le bâtiment

Si le bâtiment est situé dans une zone à risque (zone sismique, zone à fort vent...), alors c'est un facteur qui vient majorer le risque (en occurrence et/ou en gravité selon le scénario retenu dans l'analyse des risques).

Exemple : un système frigorifique placé au sommet d'un bâtiment situé dans une zone à fortes vitesses de vent a davantage de probabilité de mener à une défaillance qu'un système frigorifique placé dans une zone à faibles vitesses de vent. L'analyse des risques réalisée par l'installateur devra mettre en évidence que l'occurrence du risque est plus importante dans le premier cas.

4 Cas d'application sur un exemple fil rouge

4.1 Présentation de l'exemple fil rouge

L'exemple fil rouge présente plusieurs typologies de systèmes de réfrigération et de climatisation. Ceux-ci se trouvent soit dans une grande surface de vente, soit dans un petit commerce de bouche ou dans des locaux tertiaires.

L'exemple fil rouge est constitué :

- D'une zone de vente :
  - Meuble Frigorifique de Vente autonome : classe I,
  - Meuble Frigorifique de Vente raccordé à une centrale : classe II.
- D'une zone de bureaux :
  - Système direct (système de climatisation à Débit de Régulation Variable) : classe II.
- D'une salle des machines (production frigorifique) : classe II ;
  - Système direct : classe II (centrale frigorifique),
  - Système indirect ventilé fermé : classe III (refroidisseur de liquide).
- D'une chambre froide :
  - Groupe de condensation : classe II.

Exemples traités	Phase de vie	Fluide frigorigène
Centrale de réfrigération	Conception	R744
Groupe de condensation	Construction	R455A
Unité de condensation	Installation in situ	R744
Unité de climatisation (DRV)	Installation in situ	R32
Refroidisseur de liquide	Installation in situ	R1234ze
Refroidisseur de liquide	Fonctionnement	R1234ze
Meuble frigorifique de vente	Maintenance ou réparation	R290
Centrale de réfrigération	Maintenance ou réparation	R744
Unité de climatisation (DRV)	Maintenance ou réparation	R32

FIGURE 30 : Tableau de synthèse des exemples traités par phase de vie

Remarque : le fluide frigorigène R455A n'est pas encore mentionné dans la norme NF EN 378 : 2017 **(partie 1 Annexe E)**. Cela ne signifie pas pour autant qu'il ne peut pas être utilisé. Pour tous les autres fluides qui sont dans ce cas, le lecteur pourra s'appuyer sur les données ASHRAE. Les fluides qui disposent d'une désignation en Rxxxx font partie des fluides référencés par l'ASHRAE.

Les différentes phases de vie du § 4 représentent les phases de vie d'intervention de chacun des acteurs dans le cycle de vie décrit par la norme NF EN 378 : 2017. Ainsi, la phase de vie « Conception » traite le cas d'un industriel qui conçoit une centrale de réfrigération. La phase de vie « Fabrication » traite le cas d'un industriel qui fabrique (ou construit) sur une ligne de production un groupe de condensation. Et ainsi de suite.

Type de matériel		EXEMPLE DE MATÉRIEL	Type d'emplacement	Classification de l'emplacement (cf. NF EN378 : 2017 partie 1 § 5.3)	Catégorie d'accès choisie dans cet exemple (cf. NF EN 378 : 2017 partie 1 tableau 4, § 5.1)
Système CO_2 (R744)					
Distribution du froid	Meuble frigorifique de vente (MFV)		Espace de vente	Classe II	a
	Chambre froide		Espace de stockage	Classe II	b
Production du froid	Centrale frigorifique		Salle des machines	Classe II	c
Rejet de la chaleur	Gas cooler		Extérieur	Classe II	c
Système R290			Espace de vente	Classe I	a
Meuble frigorifique de vente autonome (MFV)					

FIGURE 31 : Systèmes frigorifiques des exemples du fil rouge

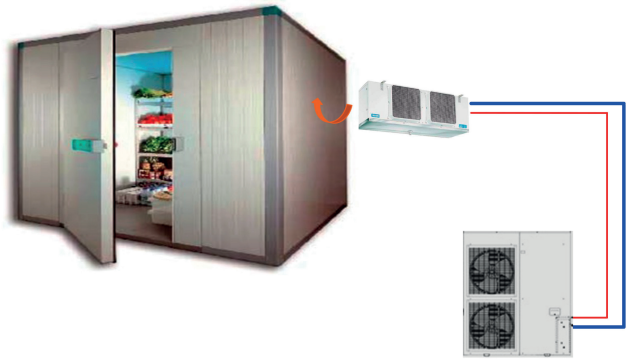
Type de matériel	EXEMPLE DE MATÉRIEL	Type d'emplacement	Classification de l'emplacement (voir remarque précédente)	Catégorie d'accès choisie dans cet exemple (voir remarque précédente)
Système R32 Unités intérieures Unité extérieure		Espace de travail Extérieur	Classe II	b
Système R455A Évaporateur de chambre froide Groupe de condensation		Espace de stockage Extérieur	Classe II	b

FIGURE 32 : Systèmes frigorifiques des exemples du fil rouge (suite)

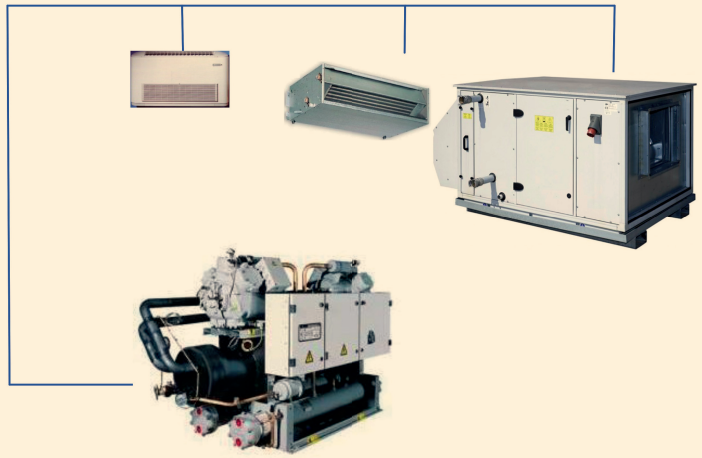
Type de matériel	EXEMPLE DE MATÉRIEL	Type d'emplacement	Classification de l'emplacement (cf. NF EN 378 : 2017 partie 1 Annexe C)	Catégorie d'accès choisie dans cet exemple (voir remarque précédente)
Système R1234ze				
Unités intérieures		Espace de travail	Classe III (si indirect ventilé et fermé)	b
		Espace occupé		a
Groupe d'eau glacée		Salle des machines		c

FIGURE 33 : Systèmes frigorifiques des exemples du fil rouge (suite)

4.2 Phase de vie « conception »

Cette phase de vie cible la situation où le système est conçu au sens où ses caractéristiques physiques sont spécifiées. Cela peut concerner autant un industriel fabricant d'un composant au sens de la norme (c'est-à-dire un compresseur, un échangeur…) qu'une société qui conçoit l'installation d'un système frigorifique. Le lecteur se reportera principalement à la partie 2 de la norme NF EN 378 : 2017.

4.2.1 Description du système

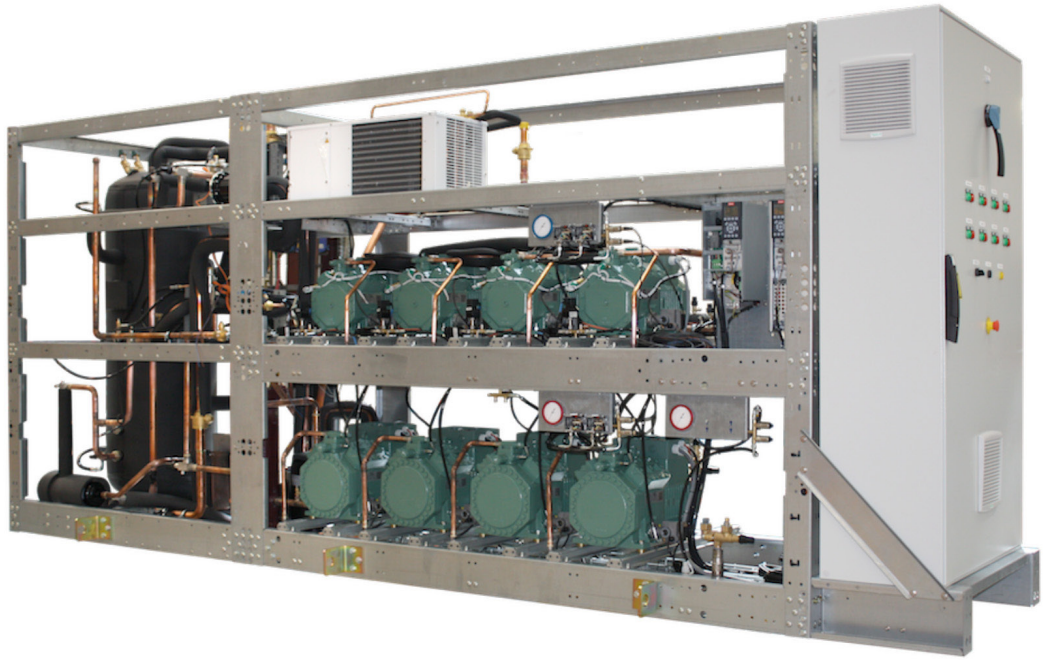


FIGURE 34 : Centrale de réfrigération CO_2

La salle des machines (volume de 160 m^3) contient une centrale de réfrigération conçue pour de la conservation de produits alimentaires (Catégorie « Autres applications »). Un gas cooler en extérieur assure le rejet de chaleur. La distribution de froid se fait au travers des terminaux (meuble de vente et chambre froide). La charge de gaz CO_2 potentiellement libérable est égale à 200 kg. La salle des machines est équipée d'un détecteur de ce fluide.

4.2.2 Données d'entrée

La phase de conception du système frigorifique consiste à spécifier l'ensemble des caractéristiques physiques du système afin de répondre à des exigences de sécurité et de qualité. Cela concerne ses performances de fonctionnement (pression de service maximale…) mais également toutes les autres caractéristiques qui servent à fabriquer/construire, installer et maintenir le système (dimensions géométriques, état de surface, désignation d'un matériau…).

Le concepteur du système peut être l'industriel fabricant ou l'installateur. En tout état de cause, celui qui est responsable de la conception du système doit mener une analyse des risques basée sur l'ensemble des phases du cycle de vie du système : depuis sa fabrication jusqu'à sa fin de vie. À chaque phase du cycle de vie peuvent correspondre des risques différents.

La norme NF EN 378 : 2017 identifie un certain nombre de caractéristiques importantes qu'il s'agit d'identifier au départ de la conception afin d'être en mesure de réaliser l'ensemble des tâches de conception (dont l'analyse des risques). Le format du **tableau de synthèse ci-dessous** est donné à titre indicatif et sera utilisé tout au long du guide pour le traitement des différents exemples.

§ NF EN 378 : 2017	Données d'entrée	Centrale de réfrigération avec fluide R744
§5.1 (partie 1)	**Catégorie d'accès**	
	Catégorie d'accès **(tableau 4)**	c (accès réservé)
	Application/toxicité **(tableau C.1)**	Autre
	Application/inflammabilité **(tableau C.1)**	NC (Non inflammable)
§5.2 (partie 1)	**Fluide frigorigène (Annexe E)**	
	Classe sécurité **(tableau E.1)**	A1
	Groupe PED **(tableau E.1)**	2
§5.3 (partie 1)	**Emplacement systèmes frigorifiques**	
	Classe d'emplacement	Classe II
	Volume en m^3	160
	Surface en m^2	40
§5.4 (partie 1)	**Classification systèmes**	
	Classification complément 1	Système direct à libération
	Complément système	Néant
§6 (partie 1)	**Quantité de fluide**	
	Masse de fluide contenue (kg)	200
–	**Données complémentaires**	
	Zone de risque pour le bâtiment	Néant
	Zone dans le bâtiment (risques)	Néant

FIGURE 35 : Tableau des données d'entrée pour l'analyse des risques

Informations complémentaires pour le remplissage du tableau :

- Le Fluide frigorigène : se référer à l'**Annexe E** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 :
  - la Classe de sécurité : se référer au **tableau E.1** de l'Annexe E partie 1,
  - le groupe PED : se référer au **tableau E.1** de l'Annexe E partie 1.
- La catégorie d'accès : se référer au **tableau 4** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 § 5.1 :
  - l'Application/toxicité : se référer au **tableau C.1** de la partie 1 Annexe C,
  - l'Application/inflammabilité : se référer au **tableau C.2** de la partie 1 Annexe C.

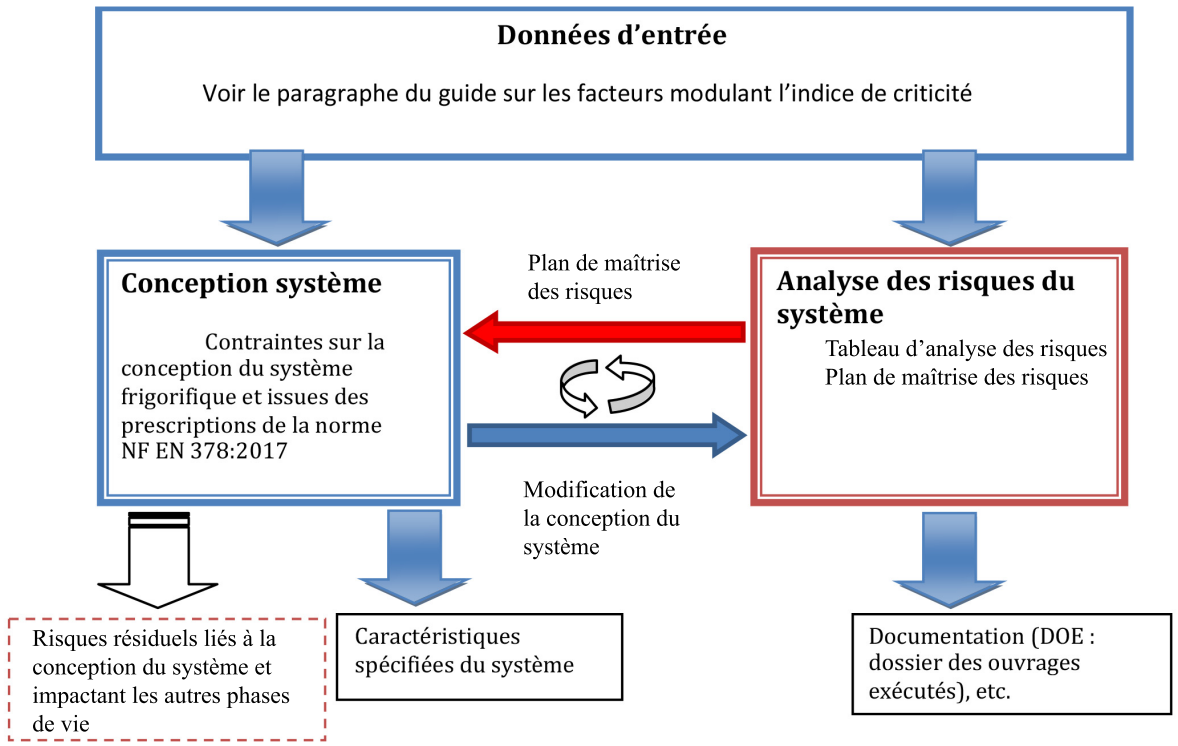


FIGURE 36 : Interactions entre la conception et l'analyse des risques

Le plan de maîtrise des risques aboutit à la mise en place de mesures de réduction des risques qui peuvent elles-mêmes générer de nouveaux risques (reconception d'une partie du système…). En conséquence, toute modification de la conception du système doit donner lieu à une nouvelle analyse des risques.

Les données de sortie (caractéristiques spécifiées du système conçu et la documentation technique de manière générale : dossier des ouvrages exécutés…) servent de données d'entrée pour l'acteur de la phase de vie suivante, à savoir l'installateur.

4.2.3 Tableau d'analyse des risques d'un système avec fluide CO_2

L'extrait d'analyse des risques présenté ci-dessous est axé sur le fonctionnement en mode commun (pas de mode dégradé) par rapport au risque « pression » uniquement. L'objectif étant d'assurer l'intégrité mécanique des enceintes pressurisées dans toutes les phases de vie de la machine. Le mode dégradé incluant les phénomènes exceptionnels devra être aussi considéré (inondation, vent, séisme…). La norme NF EN 378 : 2017 prend en compte d'autres exigences liées aux risques mécaniques, électriques, acoustiques, résultant de champs électromagnétiques… qu'il conviendra aussi d'intégrer.

On suppose que les échelles de cotation utilisées sont les suivantes :

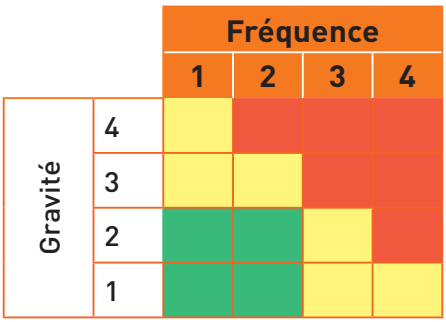
Indice de Gravité :

Rating	Indice G Gravité du risque
4	Un ou plusieurs morts
3	Un ou plusieurs blessés graves (handicap permanent)
2	Un ou plusieurs blessés (atteinte réversible après acte médical)
1	Blessé improbable (atteinte réversible sans acte médical)

Indice d'Occurrence (ou de Fréquence) :

Rating	Indice O Occurrence du risque
4	Fréquent
3	Possible envisagé
2	Possible mais pas raisonnablement envisageable
1	Impossible

On suppose que la matrice des risques utilisée est la suivante :



Légende de la matrice des risques :

Risque inacceptable – Actions obligatoires

Risque acceptable avec mesure adaptée

Risque acceptable

Dans l'exemple, on suppose que la situation dangereuse conduit systématiquement au dommage. Par conséquent, il n'est pas recherché de cause provoquant le passage de la situation dangereuse au risque. L'objectif étant d'agir sur la cause racine du risque, c'est-à-dire celle qui provoque l'apparition de la situation dangereuse. Ce raisonnement tend donc à majorer la fréquence d'apparition du risque et est par conséquent recevable.

L'analyse des risques ci-dessous est réalisée en phase de conception mais concerne l'ensemble des autres phases de vie **(voir colonne phase de vie du tableau ci-dessous)** par lequel le système va passer :

Phase de vie	Phénomène dangereux (cf note 1)	Situation dangereuse	Cause provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Classe de l'emplacement de la machine (de I à IV)	Risque	Fréquence du risque	Gravité du risque	Criticité du risque	Mesures diminuant la probabilité d'apparition du risque (mesure préventive)	Mesures diminuant la gravité du risque (mesure	Nouvelle fréquence	Nouvelle gravité	Nouvelle criticité
Expédition-Transport-Stockage	Fluide CO2	Fuite par montée en température à 55° C	Haute température extérieure	NA	Anoxie d'une personne	3	3	8	Equipement non chargé en usine.	–	1	1	1
		Fuite par montée en température exceptionnelle du fluide CO2	Incendie sur route ou site de stockage	NA	Anoxie d'une personne	2	3	6	Equipement non chargé en usine.		1	1	1
		Rupture ou fuite par fragilisation du matériau	Basse ou Haute température extérieure	NA	Anoxie d'une personne	3	3	8	Prise en compte des températures ambiantes et de service : lors de la sélection des composants chez le fournisseur, vérifier l'adéquation entre la Température de service composants et la température de service unité. Données à rajouter dans la spec du produit. Information des températures de service min et max sur le guide d'installation.	–	2	2	4
		Rupture ou fuite par dégradation d'un composant	Conditions de stockage inappropriées	NA	Anoxie d'une personne	3	3	8	corrosion : Spécification d'achat de composants avec tenue minimale au brouillard salin à spécifier pour les composants achetés. Mise en place de protections spécifiques proposées en standard ou option en fonction des applications pour les couples galvaniques. Composants conformes à la PED devant intégrer une validation de la tenue en fatigue faite par le fournisseur. Validation théorique par calcul en FEA et/ou test au marteau de choc.	–	2	2	4
Installation	Fluide CO2	Rupture ou fuite par dégradation d'un composant	Corrosion ou déformation	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	9	Prise en compte des forces provoquées par les supports et les fixations : réalisation de prototypes permettant de tester et valider l'efficacité des supportages du circuit frigorifique. Prise en compte des préconisations des positions de support de la EN378-2. Respecter un nombre suffisant de supports pour les tuyauteries en fonction de leurs tailles et du poids en fonctionnement et privilégier un tracé évitant les coups de bélier (choc hydraulique). Ne pas générer de contraintes sur les tuyauteries de raccordements des unités. Information sur le guide d'installation pour les unités non packagées de réfrigération. corrosion : Spécification d'achat de composants avec tenue minimale au brouillard salin à spécifier pour les composants achetés. Mise en place de protections spécifiques proposées en standard ou option en fonction des applications pour les couples galvaniques. Erosion : Dimensionnement des tuyauteries et composants permettant de limiter les vitesses des fluides suivant les règles de l'art. (15 m/s pour les gaz et 1.5 m/s pour un liquide) Fâtigue : Dimensionnement de la tuyauterie suivant EN378-2 (3x la PS) ou essais suivant cycle normalisé. (EN 14276) Composants conformes à la PED devant intégrer une validation de la tenue en fatigue faite par le fournisseur. Validation théorique par calcul en FEA et/ou test au marteau de choc	–	2	2	4

☞

Phase de vie	Phénomène dangereux (cf note 1)	Situation dangereuse	Cause provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Classe de l'emplacement de la machine (de I à IV)	Risque	Fréquence du risque	Gravité du risque	Criticité du risque	Mesures diminuant la probabilité d'apparition du risque (mesure préventive)	Mesures diminuant la gravité du risque (mesure	Nouvelle fréquence	Nouvelle gravité	Nouvelle criticité
Mise en service	Surpression du fluide CO2	Rupture ou fuite par surpression	Obturation du circuit	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	9	Personnel habilité pour ce type d'intervention. Une procédure de mise en service est proposée dans l'EN378 part 2 annexe J.	–	2	2	4
		Rupture ou fuite par surpression	Surremplissage	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	9	Mesure contre le surremplissage : pour les appareils chargés en usine : Contrôle en fin de chaîne des bonnes valeurs de pression et température. Pour les appareils chargés sur site par les installateurs : seules des personnes habilitées peuvent réaliser la charge de l'installation qui devra être optimisée pendant la mise en service avec des valeurs de fonctionnement qui restent dans les limites admissibles de la machine (voir informations des PS et TS sur la plaque signalétique). Dans la notice d'instructions ou PID, préciser la présence et situer les dispositifs de remplissage, de prélèvement et de purge.	–	2	2	4
	Fluide CO2	Rupture ou fuite par fragilisation du matériau	Grand froid ou canicule	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	9	Prise en compte des températures ambiantes et de service : lors de la sélection des composants chez le fournisseur, vérifier l'adéquation entre la Température de service composants et la température de service unité. Données à rajouter dans la spec du produit. Information des températures de service min et max sur le guide d'installation.	–	2	2	4
	Fluide CO2	Rupture ou fuite par dégradation d'un composant	Vibration	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	9	corrosion : Spécification d'achat de composant avec tenue minimale au brouillard salin à spécifier pour les composants achetés. Mise en place de protections spécifiques proposées en standard ou option en fonction des applications pour les couples galvaniques. Erosion : Dimensionnement des tuyauteries et composants permettant de limiter les vitesses des fluides suivant les règles de l'art. (15 m/s pour les gaz et 1.5 m/s pour un liquide) Fâtigue : Dimensionnement de la tuyauterie suivant EN378-2 (3x la PS) ou essai suivant cycle normalisé. (EN 14276) Composants conformes à la PED devant intégrer une validation de la tenue en fatigue faite par le fournisseur. Validation théorique par calcul en FEA et/ou test au marteau de choc.	–	2	2	4

☞

Phase de vie	Phénomène dangereux (cf note 1)	Situation dangereuse	Cause provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Classe de l'emplacement de la machine (de I à IV)	Risque	Fréquence du risque	Gravité du risque	Criticité du risque	Mesures diminuant la probabilité d'apparition du risque (mesure préventive)	Mesures diminuant la gravité du risque (mesure	Nouvelle fréquence	Nouvelle gravité	Nouvelle criticité
En opération (nominal)	Surpression du fluide CO2	Rupture ou fuite par surpression	Obturation du circuit	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	8	Personnel habilité pour ce type d'intervention	Pressotat HP de sécurité, soupapes.	2	2	4
		Rupture ou fuite par surpression	Echangeur encrassé	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	8	préciser dans le guide d'entretien les actions de maintenance et leurs périodicités à prévoir afin d'avoir des échangeurs non encrassés.	Pressotat HP de sécurité, soupapes.	2	2	4
	Basse ou haute température du fluide CO2	Rupture ou fuite par fragilisation du matériau	Grand froid ou canicule	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	8	Prise en compte des températures ambiantes et de service : lors de la sélection des composants chez le fournisseur, vérifier l'adéquation entre la Température de service composants et la température de service unité. Données à rajouter dans la spec du produit. Information des températures de service min et max sur le guide d'installation.	–	2	2	4
	Fluide CO2	Rupture ou fuite par dégradation d'un composant	Vibration	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	8	corrosion : Spécification d'achat de composant avec tenue minimale au brouillard salin à spécifier pour les composants achetés. Mise en place de protections spécifiques proposées en standard ou option en fonction des applications pour les couples galvaniques. Erosion : Dimensionnement des tuyauteries et composants permettant de limiter les vitesses des fluides suivant les règles de l'art. (15 m/s pour les gaz et 1.5 m/s pour un liquide) Fâtigue : Dimensionnement de la tuyauterie suivant EN378-2 (3x la PS) ou essais suivant cycle normalisé. (EN 14276) Composants conformes à la PED devant intégrer une validation de la tenue en fatigue faite par le fournisseur. Validation théorique par calcul en FEA et/ou test au marteau de choc,	–	2	2	4
		Rupture ou fuite par surcharge mécanique	Gel sur circuit hydraulique	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	8	En cas d'utilisation de circuit hydraulique, prévoir une protection antigel en fonction du lieu d'utilisation. (guide d'entretien).	–	2	2	4

☞

Phase de vie	Phénomène dangereux (cf note 1)	Situation dangereuse	Cause provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Classe de l'emplacement de la machine (de I à IV)	Risque	Fréquence du risque	Gravité du risque	Criticité du risque	Mesures diminuant la probabilité d'apparition du risque (mesure préventive)	Mesures diminuant la gravité du risque (mesure	Nouvelle fréquence	Nouvelle gravité	Nouvelle criticité
Arrêt – Hivernage Mise en veille – Stand by	Surpression du fluide CO2	Rupture ou fuite	Fluide : CO2(R744) – Application CO2	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	8	Opération de vidange du CO2 à prévoir (guide d'entretien)		2	2	4
		Rupture ou fuite	Fluide : CO2(R744) – Application CO2	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	8	Opération de vidange du CO2 à prévoir (guide d'entretien)		2	2	4
	Basse ou haute température du fluide CO2	Rupture ou fuite par fragilisation du matériau	Grand froid ou canicule	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	8	Prise en compte des températures ambiantes et de service : lors de la sélection des composants chez le fournisseur, vérifier l'adéquation entre la Température de service composants et la température de service unité. Données à rajouter dans la spec du produit. Information des températures de service min et max sur le guide d'installation.	–	2	2	4
	Fluide CO2	Rupture ou fuite par surcharge mécanique	Gel sur circuit hydraulique	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	8	En cas d'utilisation de circuit hydraulique, prévoir une protection antigel en fonction du lieu d'utilisation.	–	2	2	4
Mainte-nance et démantel-lement	Surpression du fluide CO2	Rupture ou fuite par surpression	Obturation du circuit	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	8	Personnel habilité pour ce type d'intervention	Pressotat HP de sécurité, soupapes.	2	2	4
	Basse ou haute température du fluide CO2	Rupture ou fuite par fragilisation du matériau	Grand froid ou canicule	Classe II	Anoxie d'une personne	3	3	8	Prise en compte des températures ambiantes et de service : lors de la sélection des composants chez le fournisseur, vérifier l'adéquation entre la Température de service composants et la température de service unité. Données à rajouter dans la spec du produit. Information des températures de service min et max sur le guide d'installation.	–	2	2	4

FIGURE 37 : Tableau d'analyse des risques

Note 1 : l'**Annexe 1** de ce guide fournit une liste de phénomènes dangereux.

4.2.4 Principales mesures de réduction du risque apportées par la norme NF EN 378 : 2017

Risque couvert : phase de vie conception	Mesure de réduction du risque	Paragraphe de la norme NF EN 378 : 2017 où la mesure est citée	Remarques
Tous types de risques relatifs à la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement	Respect des contraintes sur la conception, la construction et l'installation du système frigorifique dans son ensemble	§6.2 (partie 2) et éventuellement Annexe A (pour des systèmes frigorifiques utilisant du fluide R717)	La norme apporte des exigences très variées qui doivent être respectées par le concepteur, le constructeur et l'installateur du système frigorifique. Ces exigences portent sur la réalisation d'essais, de tests (étanchéité…), d'étiquettes à poser
Tous types de risques relatifs à la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement	Respect des contraintes sur la conception (et la construction) du système frigorifique et qui portent sur les composants et la tuyauterie	§5.2 (partie 2)	La norme apporte des exigences générales (les composants doivent respecter les exigences de référentiels qui sont cités) et apporte également des exigences spécifiques (la norme précise elle-même les exigences à respecter). Les contraintes spécifiques portent sur : ◗ les matériaux des composants ; ◗ les essais à réaliser sur ces composants (résistance à la pression…) ; ◗ l'information à produire sur ces composants. Exemple de l'impact d'une mesure de réduction du risque : la réalisation d'un test d'étanchéité sur un composant contribue à diminuer la fréquence d'apparition d'un risque lié à une fuite. En effet, suite à ce test, si les résultats ne sont pas conformes à l'attendu, des mesures de fiabilisation du composant devront être prises.
Risques « pression » : risques liés à une « résistance mécanique de l'enveloppe » insuffisante : éjection de fluide (air, eau, huile, fluide frigorigène…) ou d'éléments mécaniques	Conformité à la directive des équipements sous pression	Conformité à la réglementation en vigueur	Les risques liés à des pressions faibles (en opposition à des pressions élevées) ne sont pas couverts par la directive des Équipements sous pression. La norme EN 14276 parties 1 et 2 demande de vérifier que le tirage au vide n'a pas d'effet négatif sur les appareils à pression et sur les tuyauteries. Attention : ce n'est pas parce qu'un système est dimensionné pour résister à une surpression qu'il peut également assurer une étanchéité vis-à-vis d'une pression faible (certains types de joints…). ☞

Risque couvert : phase de vie conception	Mesure de réduction du risque	Paragraphe de la norme NF EN 378 : 2017 où la mesure est citée	Remarques
	Utilisation d'une disposition donnée des dispositifs de limitation de pression (soupapes...)	**Annexe F (partie 2)**	Orientation des tubes de décharge des soupapes afin d'éviter tout risque, en particulier pour les personnes. (position dans doc à retrouver) Cela n'est pas exhaustif : la norme NF EN 378 : 2017 cite aussi les contraintes résultant de mauvaises utilisations ou incendie **(6.2.3.1 et 6.2.2.3)**. Voir le logigramme de la norme partie 2
	Choix de composants ayant une résistance suffisante à la pression pour les températures d'utilisation	**§6.2.2.2 (partie 2)**	
	Définition adéquate de la catégorie des composants	**Annexe B (partie 2)**	
	Prise en compte des Contraintes de conception sur le système frigorifique et portant sur les instruments d'indication et de mesure (pour la surveillance)	**§6.2.7 (partie 2)**	
	Prise en compte des Contraintes de conception sur le système frigorifique	**§6.2.6.2 (partie 2)**	
Tous types de risques relatifs à la sécurité des personnes	Conformité à la directive Machines	Conformité à la réglementation en vigueur	Les systèmes frigorifiques ne sont pas forcément soumis à la directive Machines. La norme NF EN 378 : 2017 partie 2 (et uniquement la partie 2) qui concerne les phases de vie « conception et fabrication » est une norme harmonisée vis-à-vis de la directive Machines (Journal officiel du 13 mai 2016). La directive Machines, tout comme la norme NF EN 378 : 2017, ne concerne pas uniquement les concepteurs et fabricants de machines car les risques pour la sécurité des personnes doivent être couverts sur la totalité du cycle de vie de la machine. La norme NF EN ISO 12100 : 2010 est la norme de référence pour réaliser l'analyse des risques demandée par la directive Machines. ☞

Risque couvert : phase de vie conception	Mesure de réduction du risque	Paragraphe de la norme NF EN 378 : 2017 où la mesure est citée	Remarques
Tous types de risques relatifs à la sécurité des personnes	Conformité à la norme NF EN ISO 12100 : 2010	Introduction partie 1	La norme NF EN ISO 12100 : 2010 est citée par la norme NF EN 378 : 2017 pour couvrir tous les autres risques qui n'apparaissent pas dans son Annexe G.
Risques liés à un dépassement d'un niveau de concentration d'un fluide frigorigène (effets nuisibles pour les personnes, les biens et l'environnement : toxicité par inhalation du fluide frigorigène, inflammation ou explosion...).	Informations techniques données à l'exploitant ou à l'installateur du système frigorifique de la charge maximale de fluide	**§5.2 (partie 1) et Annexe E (partie 1)**	Le concepteur se doit de donner les informations techniques sur la charge maximale de fluide contenue dans le système frigorifique à l'installateur (si l'exploitant est un particulier) ou à l'exploitant directement (si c'est un professionnel). L'exploitant ou l'installateur pourra ensuite utiliser cette information dans sa propre analyse des risques afin d'éviter d'installer le système frigorifique dans un volume trop faible (voir remarque en fin de ce paragraphe).
Tous types de risques relatifs à la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement	Fourniture de la documentation technique à l'acteur du cycle de vie concerné (document d'installation du système frigorifique pour la phase de vie installation et également document pour les phases de vie suivantes)	**§6.4.3 (partie 2) et 6.6 (partie 4)**	
Risques « fuite » : risques consécutifs à une fuite (étanchéité défaillante)	Vérification de la compatibilité des matériaux des composants ou sous-systèmes Essai de simulation de fuite pour certains fluides frigorigènes	**§5.2 (partie 1) et § 5.3 (partie 1)** **Annexe I (partie 2)**	Il est demandé une compatibilité des matériaux composants ou des sous-systèmes vis-à-vis des différents types de fluides (fluide frigorigène, eau...) afin d'éviter une détérioration de ces composants ou sous-systèmes (notamment les phénomènes de corrosion)
Risques consécutifs à un contact direct avec des surfaces à températures trop élevées ou trop faibles	Pour les surfaces chaudes : compatibilité avec la norme EN 60335 et EN ISO 13732-1	**§6.2.10 (partie 2)**	La norme NF EN 378 : 2017 ne donne pas de « solution technique » pour couvrir les risques liés à des brûlures par le froid. Elle précise uniquement qu'il existe ce risque dans l'Annexe D partie 2. En revanche, la norme EN 13732 partie 2 traite ce risque mais elle n'est pas citée par la norme NF EN 378 : 2017.

Risque couvert : phase de vie conception	Mesure de réduction du risque	Paragraphe de la norme NF EN 378 : 2017 où la mesure est citée	Remarques
Risques de brûlure consécutifs à une projection de fluide	Mesure de réduction du risque par conception (mesure non définie)	**§5.1.2 (partie 2)**	Le scénario visé est celui d'une mauvaise manipulation du système (ouverture d'une soupape de sécurité...). La norme NF EN 378 : 2017 partie 2 § 5.1.2 précise que : « *Le refoulement délibéré de fluides frigorigènes doit seulement être permis d'une manière non nuisible aux personnes, aux biens et à l'environnement et ceci en conformité avec les lois nationales.* »
Risques liés à l'énergie électrique	La conception de l'équipement électrique doit répondre aux prescriptions de différentes normes citées par la norme NF EN 378 : 2017	**§6.2.9 (partie 2)**	Le **§ 6.2.9 (partie 2)** traite principalement des risques liés à des courts-circuits (électrocution ou apparition de surfaces chaudes). Le **§ 6.2.14 (partie 2)** traite des scénarios amenant à des incendies ou des explosions.
Risques liés à des éléments mécaniques en mouvement (écrasement, coupures...) ou dangereux (abrasifs, coupants...)	La conception du système frigorifique doit répondre aux prescriptions de différentes normes citées par la norme NF EN 378 : 2017.	**§6.2.11 (partie 2)** Conformité directive Machines	La directive Machines et la norme ISO 12100 traitent ces risques. Par exemple : possibilité de contact avec des éléments mobiles (rotors, pales de compresseurs...) ou présence d'arêtes vives. La norme EN ISO 12100 répertorie ces risques dans son tableau de phénomènes dangereux mécaniques.
Risques liés à des fluides inflammables (inflammation et explosion)	◗ Voir les mesures proposées limitant l'apparition de fuites ◗ Mesures proposées et traitant des risques liés à l'énergie électrique ◗ Informations techniques à fournir à l'installateur (calcul de la charge retenue et recommandations)	**§9 (partie 3)**	
Tous types de risques (liés à un bâtiment situé dans une zone à risque)	Conception de composants ayant une résistance suffisante à des effets extérieurs	**§6.2 (partie 2)**	Aucune solution technique n'est proposée par la norme NF EN 378 : 2017. Les mesures de réduction du risque devront correspondre aux types de risques mis en évidence lors de l'analyse de risques en conformité avec les normes et règlements pertinents en vigueur.

FIGURE 38 : Tableau des mesures de réduction du risque prescrites par la norme NF EN 378 : 2017

Remarque complémentaire sur le risque de dépassement d'un niveau de concentration d'un fluide frigorigène : ce risque est traité notamment par la limitation de la charge qui est une mesure de réduction du risque imposée par la norme NF EN 378 : 2017. « *Pour chaque combinaison possible des facteurs modulant l'indice de criticité (catégorie d'accès, utilisation, applications, fluide frigorigène, emplacement et classification du système frigorifique), la charge nécessaire sera comparée avec les limites de charge correspondantes. L'intervenant concerné pourra ainsi retenir le choix le plus adapté de fluide frigorigène, d'emplacement et de classification du système frigorifique en fonction de ses objectifs (efficacité énergétique, contraintes de sécurité, coût d'investissement global, coût d'exploitation et d'assurance, éviter le classement de l'établissement, etc.).* » Les règles de calcul de charges limites suivant l'Annexe C de la norme NF EN 378 : 2017 sont fournies dans ce guide **(voir § 3.2.6)**. Des exemples sont fournis au § 4.4.5.

4.3 Phase de vie « construction »

Dans ce guide, cette phase de vie « construction du système » cible la situation où le système qui est construit est un composant fabriqué dans un lieu de production. La norme NF EN 378 : 2017 prend aussi en compte le cas du système frigorifique construit sur site. Pour ce cas-là, le lecteur se reportera à la phase de vie « installation » du guide et aux parties 1 et 2 de la norme NF EN 378 : 2017.

4.3.1 Description du système

Le système est un groupe de condensation à détente directe raccordé à une chambre froide de -20 °C (20 m^3 et 8 m^2). On suppose qu'il est placé contre le mur de la chambre froide (pas de longues tuyauteries). L'analyse des risques est une AMDEC processus **(voir Annexe 4 du guide)** et porte sur une opération de brasage avec des opérateurs habilités.

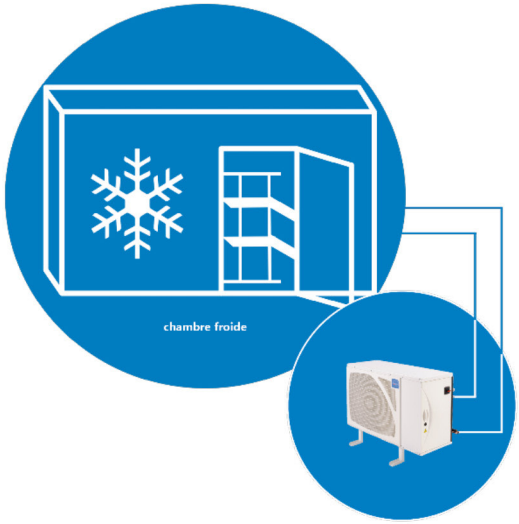


FIGURE 39 : Chambre froide

4.3.2 Données d'entrée

§ NF EN 378 : 2017	Données d'entrée	Groupe de condensation avec fluide R455A
§5.1 (partie 1)	**Catégorie d'accès**	
	Catégorie d'accès **(tableau 4)**	b
	Application/toxicité **(tableau C.1)**	Pas de toxicité
	Application/inflammabilité **(tableau C.1)**	Autre application
§5.2 (partie 1)	**Fluide frigorigène (Annexe E)**	
	Classe sécurité **(tableau E.1)**	A2L
	Groupe PED **(tableau E.1)**	1
§5.3 (partie 1)	**Emplacement systèmes frigorifiques**	
	Classe d'emplacement	Classe II
	Volume en m^3	20
	Surface en m^2	8
§5.4 (partie 1)	**Classification systèmes**	
	Classification complément 1	Système direct à libération
	Complément système	Néant
§6 (partie 1)	**Quantité de fluide**	
	Masse de fluide contenue (kg)	2,2 (< 1,5 m_1)
–	**Données complémentaires**	
	Zone de risque pour le bâtiment	Néant
	Zone dans le bâtiment (risques)	Néant

FIGURE 40 : Tableau des données d'entrée pour l'analyse des risques

Informations complémentaires pour le remplissage du tableau :

- Le Fluide frigorigène : exemple d'un fluide ne figurant pas encore dans l'**Annexe E** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 :
  - la Classe de sécurité : se référer aux données fournies sous son entière responsabilité par le producteur du fluide frigorigène,
  - le groupe PED : se référer à la fiche de sécurité du fluide fournie par le producteur du fluide frigorigène indiquant son classement CLP auquel correspond sa classification au regard de la DESP.

Numéro du fluide frigorigène	R455A
Composition (% en masse)	R-744/32/1234yf (3.0/21.5/75.5)
Tolérances de composition (%)	– 1 +2/-2 +1/-2 +2
Classe de sécurité	A2L
Groupe de fluides DESP	1
Limite pratique (kg/m³)	0.061
ATEL/ODL (kg/m³)	0.414
LFL (kg/m³)	0.423
Densité de vapeur 25 °C, 101,3 kPa (kg/m³)	3.63
Masse moléculaire	87.5
Point d'ébullition normal (°C)	– 52.1
ODP	0
GWP (AR5)	145
Auto-ignition Température (°C)	473-477

- La catégorie d'accès : se référer au **tableau 4** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 § 5.1 :
  - l'Application/toxicité : se référer au **tableau C.1** de la partie 1 Annexe C,
  - l'Application/inflammabilité : se référer au **tableau C.2** de la partie 1 Annexe C.

4.3.3 Tableau d'analyse des risques d'un système avec fluide R455A

Les échelles de cotation utilisées sont les suivantes :

Niveau	Gravité	Occurrence
10	Danger catastrophique	Très grande
9	Danger sérieux	
8	Extrême	Grande
7	Haute	
6	Modérée	Modérée
5	Faible	
4	Très faible	
3	Légère	Faible
2	Infime	
1	Sans danger	Négligeable

Détection	Note
Presque impossible à détecter	10
Très difficile	9
Difficile	8
Très faible	7
Faible	6
Moyenne	5
Moyennement bonne	4
Bonne	3
Très bonne	2
Très bonne	1

LÉGENDE :

- Criticité = Occurrence x Détection x Gravité.
- Occurrence : mesure de la probabilité qu'un défaut qualité apparaisse (appelé mode de défaillance du processus).
- Détection : mesure de la probabilité de détecter un défaut une fois celui-ci apparu (contrôles qualité, tests en production...).
- Gravité : mesure de l'importance de la conséquence du défaut qualité.

Le seuil limite de criticité est fixé à 100. Au-delà de cette limite, une action doit être entreprise pour réduire le niveau du risque.

Fonction Etape process de fabrication	Résultats attendus de l'étape du process	Phénomène dangereux	Mode de défaillance	Effet du mode de défaillance	Gravité	Cause du mode de défaillance
Réalisation circuit fluide frigorigène : 1) Ligne liquide, 2) manchon tube aspiration Ligne refoulement compresseur-condenseur 3) accessoires de sécurité 4)... Raccordement permanent par joints brasés	Brasage à la plage de température spécifiée	Fluide R455A	Brasure à une température trop élevée	Oxydation d'une pièce de l'assemblage ou du joint brasé (fuite du fluide ou perte de la liaison mécanique)	8	Torche mal définie/mal réglée Compétence soudeur insuffisante
	Joint de brasure de qualité satisfaisante	Fluide R455A	Mauvais engagement du tube dans le raccord	Risque rupture ou fuites	5	Mauvais ou absence d'outillage pour la préparation des pièces avant brasure. Ovalisation du tube de cuivre par outil défaillant, écrasement du tube...
	Protection par flux d'azote N2	Fluide R455A	Pas de protection avec N2	Fiabilité composants (oxydation de l'intérieur du conduit de fluide frigorigène). Risque colmatage	5	1) Listé dans la gamme de fabrication 2) Agencement poste de brasure
	Nettoyage de la brasure après l'opération de brasure	Fluide R455A	Oxydation/ corrosion/risque fuite non identifié	Point de corrosion (Fuites)	8	Erreur humaine
Réalisation circuit fluide frigorigène : ◗ Manchon tube aspiration sur compresseur ◗ Ligne refoulement compresseur-condenseur ◗ Dispositif d'évacuation externes de transférer le fluide frigorigène...	Remplacement des joints PTFE pour les connections permanentes sur raccord d'aspiration et refoulement compresseur	Fluide R455A	Oubli du joint lors de l'assemblage	Fuites fluide frigorigène	8	Erreur humaine
	Serrage au couple pour les connections permanentes des raccords d'aspiration et refoulement compresseur	Fluide R455A	Mauvais serrage	Fuite fluide frigorigène	8	Pas de mesure de couple de serrage
Raccordement permanent par assemblage vissé avec joint	Serrage du bouchon d'étanchéité pour dispositifs d'évacuation externes de transférer le fluide frigorigène...	Fluide R455A	Couple de serrage trop élevé	Endommagement du filetage du raccord Schrader® (Fuites fluide frigorigène)	7	Pas de mesure de couple de serrage

FIGURE 41 : Tableau d'analyse des risques

Process Original Prévu						Nouveau Process						
						Mesure de réduction du risque						
Controls Prévention	Occurrence	Contrôles Détection	Détection	Criticité	Acceptabilité du risque	Description	§ EN 378	Nouvelle gravité	Nouvelle occurrence	Nouvelle détection	Nouvelle criticité	Acceptabilité du risque
Pas de contrôle	7	Vérification visuelle	8	448	Non acceptable	Mesure de réduction préventive du risque : formation opérateur au brasage pour obtention habilitation et habilitation renouvelée périodiquement	EN 378-4 § 4.1.2 et § 5.3.5 EN 378-2 = > EN13313 EN14276	8	1	8	64	Acceptable
Pas de contrôle	10	Pas de détection	8	400	Non acceptable	Vérification du jeu du joint avant opération de brasage.	EN378-2 § 5.3.1.3 EN14276-2	5	1	8	40	Acceptable
Operateur formé avec expérience	3	Fait parti des points audités du process de fabrication	5	75	Acceptable		EN 378-4 § 4.1.2 § 5.3 EN 378-2 = > EN13313 EN 14276	–	–	–	–	–
Pas de contrôle	4	Vérification visuelle lors du test final	8	256	Non acceptable	Inspection visuelle du nettoyage et test de pression/ fuites en fin des opérations de fabrication pression	EN378-2 § 6.3.5.3.2 et annexe H § H2	8	4	2	64	Acceptable
Pas de contrôle	4	Vérification visuelle lors l'assemblage	8	256	Non acceptable	Procédure interne 1) Mise en place d'un ordre d'opération à respecter. 2) Comptage des joints enlevés par poste de travail 3) Recommandations constructeur	EN378-2 & 5.3.1.4 EN378-2 § 5.3.2 EN 378-4 § 5.3	8	2	6	96	Acceptable
Pas de contrôle	6	Pas de détection	8	384	Non acceptable	Utilisation clé dynamométrique réglée et étalonnée régulièrement	EN378-2 & 5.3.1.4 EN378-2 § 5.3.2 EN 378-4 § 5.3 Recommandations constructeur à intégrer au manuel d'instructions EN378-2 § 6.4.3.2	8	1	8	64	Acceptable
Pas de contrôle	6	Pas de détection	8	336	Non acceptable	Utilisation clé dynamométrique réglée et étalonnée régulièrement	EN378-2 & 5.3.1.4 EN378-2 § 5.3.2 EN 378-4 § 5.3 Recommandations constructeur à intégrer au manuel d'instructions EN378-2 § 6.4.3.2	7	1	8	56	Acceptable

4.3.4 Principales mesures de réduction du risque apportées par la norme NF EN 378 : 2017

Risque couvert : phase de vie construction	Mesure de réduction du risque	Paragraphe de la norme NF EN 378 : 2017 où la mesure est citée	Remarques
Tous types de risques relatifs à la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement	Respect des contraintes sur la conception, la construction et l'installation du système frigorifique dans son ensemble	§6.2 (partie 2) et éventuellement Annexe A (pour des systèmes frigorifiques utilisant du fluide R717)	La norme apporte des exigences très variées qui doivent être respectées par le concepteur, le constructeur et l'installateur du système frigorifique. Ces exigences portent sur la réalisation d'essais, de tests (étanchéité…), d'étiquettes à poser…
Tous types de risques relatifs à la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement	Respect des contraintes sur la conception (et la construction) du système frigorifique et qui portent sur les composants et la tuyauterie	§5.2 (partie 2)	La norme apporte des exigences générales (les composants doivent respecter les exigences de référentiels qui sont cités) et apporte également des exigences spécifiques (la norme précise elle-même les exigences à respecter). Les contraintes spécifiques portent sur : ◗ les matériaux des composants ; ◗ les essais à réaliser sur ces composants (résistance à la pression…) ; ◗ l'information à produire sur ces composants. Exemple de l'impact d'une mesure de réduction du risque : la réalisation d'un test d'étanchéité sur un composant contribue à diminuer la fréquence d'apparition d'un risque lié à une fuite. En effet, suite à ce test, si les résultats ne sont pas conformes à l'attendu, des mesures de fiabilisation du composant pourront être prises. ☞

Risque couvert : phase de vie construction	Mesure de réduction du risque	Paragraphe de la norme NF EN 378 : 2017 où la mesure est citée	Remarques
Risques liés à l'énergie électrique	Mesure de réduction du risque en fabrication (mesure non définie)	§6.2.14 (partie 2)	Le § 6.2.14 (partie 2) traite des scénarios amenant à des incendies ou des explosions. Citation de la norme NF EN 378 : 2017 : « *Pour les systèmes utilisant des fluides frigorigènes inflammables, les systèmes frigorifiques doivent être construits de manière à ce que toute fuite de fluide frigorigène ne se répande pas ou ne stagne pas pour ne pas entraîner un risque d'incendie ou d'explosion dans les zones des équipements où sont installés des composants et appareils qui pourraient être une source d'inflammation et qui pourraient fonctionner dans des conditions normales ou en cas de fuite.* »

FIGURE 42 : Tableau de mesures de réduction des risques prescrites par la norme NF EN 378 : 2017

Remarque sur la charge limite : la charge du système en fluide frigorigène à la fin de la construction ne devra pas dépasser la limite définie par la norme. Un récapitulatif des règles de base pour le calcul de charges limites suivant l'Annexe C de la norme NF EN 378 : 2017 est fourni dans ce guide **(voir § 3.2.6)**.

4.4 Phase de vie « installation in situ »

Cette phase de vie correspond à la situation où le système frigorifique est monté et installé sur son site d'exploitation. L'exemple d'analyse des risques fourni traite à la fois les risques liés à une conception et à une installation défaillantes du système **(voir les parties 1 et 3 de la norme NF EN 378 : 2017)**.

4.4.1 Premier exemple : une unité de condensation CO_2

4.4.1.1 Description du système

Une unité de condensation pour réfrigération commerciale petite puissance est installée. Elle utilise du CO_2. L'installateur intègre dans son analyse des risques une phase de conception (assemblage des différents matériels), une phase d'installation/mise en service et une phase d'utilisation. L'analyse des risques porte sur un groupe de condensation à détente directe raccordé à une chambre froide positive à +4 °C (20 m^3 et 8 m^2). On suppose que le groupe est installé à l'extérieur à proximité de la chambre froide (pas de longues tuyauteries).

FIGURE 43 : Unité de condensation CO_2

4.4.1.2 Données d'entrée

§ NF EN 378 : 2017	Données d'entrée	Centrale de réfrigération CO_2
§5.1 (partie 1)	**Catégorie d'accès**	
	Catégorie d'accès **(tableau 4)**	b
	Application/toxicité **(tableau C.1)**	Autre
	Application/inflammabilité **(tableau C.1)**	Néant
§5.2 (partie 1)	**Fluide frigorigène (Annexe E)**	
	Classe sécurité **(tableau E.1)**	A1
	Groupe PED **(tableau E.1)**	2
§5.3 (partie 1)	**Emplacement systèmes frigorifiques**	
	Classe d'emplacement	Classe II
	Volume en m^3	20
	Surface en m^2	8
§5.4 (partie 1)	**Classification systèmes**	
	Classification complément 1	Système direct à libération
	Complément système	Système direct
§6 (partie 1)	**Quantité de fluide**	
	Masse de fluide contenue (kg)	0,95
–	**Données complémentaires**	
	Zone de risque pour le bâtiment	Néant
	Zone dans le bâtiment (risques)	Néant

FIGURE 44 : Tableau des données d'entrée pour l'analyse des risques

Informations complémentaires pour le remplissage du tableau :

- Le Fluide frigorigène : se référer à l'**Annexe E** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 :
  - la Classe de sécurité : se référer au **tableau E.1** de l'Annexe E partie 1,
  - le groupe PED : se référer au **tableau E.1** de l'Annexe E partie 1.
- La catégorie d'accès : se référer au **tableau 4** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 § 5.1 :
  - l'Application/toxicité : se référer au **tableau C.1** de la partie 1 Annexe C,
  - l'Application/inflammabilité : se référer au **tableau C.2** de la partie 1 Annexe C.

4.4.1.3 Tableau d'analyse des risques

La matrice des risques utilisée est celle ci-dessous :

Fréquence/gravité	Insignifiant	Peu grave	Grave	Catastrophique
Impossible/quasi impossible				
Peu probable				
Assez probable				X
Très probable				
Quasi systématique				

Phase de vie	Sous phase de vie (cf note 2)	Phénomène dangereux (cf note 1)	Situation dangereuse	Cause provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Classe de l'emplacement de la machine (de I à IV)	Risque	Cause provoquant le passage de la situation dangereuse au risque
PHASE DE VIE : Conception							
Conception	Conception système : **Groupe de condensation et chambre froide**	CO2 sous pression	Fuite du CO2 en chambre froide SANS dépassement du seuil de toxicité *(Charge/volume dimensionnés < limite pratique)*	Rupture d'une soudure (ou d'un assemblage de manière générale)	Classe II	pas de risque d'anoxie	Présence d'une personne dans la chambre froide au moment de la fuite (rupture)
Conception	Conception système : **Groupe de condensation et chambre froide**	CO2 sous pression	Fuite du CO2 en chambre froide AVEC dépassement du seuil de toxicité *(Charge/volume dimensionnés < limite pratique)*	Rupture d'une soudure (ou d'un assemblage de manière générale)	Classe II	Anoxie d'une personne	Présence d'une personne dans la chambre froide au moment de la fuite (rupture)
Conception	Conception système	CO2 sous pression	Fuite de CO2	Montée en pression normale de la boucle jusqu'à sa rupture (anormale) => Arrêt en régulation, voire panne de courant (système sans groupe de maintien BP)	Classe II	Anoxie d'une personne	Présence d'une personne dans la chambre froide au moment de la fuite (rupture)
Conception	Conception système	CO2 sous pression	Projection d'une pièce métallique	Rupture d'une soudure (ou d'un assemblage de manière générale)	Classe II	Blessure d'une personne	Présence d'une personne à proximité de l'installation
PHASE DE VIE : Installation et maintenance							
Installation	Installation/ conception	CO2 sous pression	Fuite de CO2	Rupture d'une soudure ou mauvais assemblage entre le groupe, les tubes et l'évaporateur	classe II	Anoxie d'une personne	Présence d'une personne dans la chambre froide au moment de la fuite
Installation ou maintenance	mise en service	CO2 sous pression	Rupture des flexibles de remplissage	Fin de vie du flexibible ou flexible non adapté (ex : HFC)	classe II	Blessures par projection du	usure du flexible
Installation ou maintenance	mise en service	CO2 sous pression	Rupture des flexibles de remplissage ou tuyauterie de l'installation	Absence de montage du détendeur sur la bouteille de charge CO2 par le technicien (une bouteille neuve est à 250 bars)	classe II	Blessures par projection du flexible	Technicien non qualifié
Installation ou maintenance	mise en service	Fluide frigorigène à très basse température en cas de détente (CO2)	Fuite CO2 à basse température	Mauvais manipulation de l'opérateur au moment de la déconnexion du flexible	classe II	Brûlure des mains par le froid	non port des EPI
Installation ou maintenance	mise en service	Fluide frigorigène à très basse température en cas de détente (CO2)	Flexible froid lié à la machine en fonctionnement	La situation dangereuse est une situation normale	classe II	Brûlure des mains par le froid	non port des EPI
Installation ou maintenance	mise en service	Fluide frigorigène à très haute température côté haute pression (CO2)	Surfaces très chaudes accessibles	Aucune barrière mécanique	classe II	Technicien en contact avec la partie chaude (brûlures)	Catégorie d'accès A (pas de limitation)
Installation ou maintenance	mise en service	Energie électrique	Parties électriques actives exposées	Aucune barrière mécanique (machine ouverte)	classe II	Electrocution	Intervention sur la machine sous tension (manipulations inadaptées par le technicien)
PHASE DE VIE : Utilisation							
Utilisation	–	Fluide frigorigène à très haute température côté haute pression (CO2)	Surfaces très chaudes accessibles	Aucune barrière mécanique	classe II	Personne en contact avec la partie chaude (brûlures)	Catégorie d'accès A (pas de limitation)
Utilisation	–	Fluide frigorigène à très haute température côté haute pression (CO2)	Surfaces très chaudes accessibles	Aucune barrière mécanique	classe II	Personne en contact avec la partie chaude (brûlures)	Catégorie d'accès A (pas de limitation)

FIGURE 45 : Tableau d'analyse des risques

Note 1 : l'**Annexe 1** de ce guide fournit une liste de phénomènes dangereux.

Fréquence du risque	Gravité du risque	Criticité du risque	Mesures préventives (évitent l'apparition du risque)	Mesures correctives (diminuent la gravité du risque)	Nouvelle fréquence	Nouvelle gravité	Nouvelle criticité
PHASE DE VIE : Conception							
assez probable	peu grave	Acceptable					
assez probable	Catastrophique	Non acceptable	Installation d'un détecteur d'ambiance suivant disposition (EN 378-3 § 9) et réaliser une étude de son positionnement)	x	Quasi impossible	Catastrophique	Acceptable
peu probable	Catastrophique	Non acceptable	Matériels testés à 3 fois la pression de service (évaporateur choisi avec pression maximale de service ⩾ 60 bar, tuyauteries K65 et groupe de condensation)	x	Quasi impossible	Catastrophique	Acceptable
peu probable	Catastrophique	Non acceptable	Ensemble des composants positionnés ⩽ cat. 1 (EN378-2 annexe B) (relation volume/pression faible) : évaporateur, tuyauteries K65, groupe de condensation	x	Quasi impossible	Catastrophique	Acceptable
PHASE DE VIE : Installation et maintenance							
Assez probable	Catastrophique	Non acceptable	épreuve de l'installation sous azote une pression équivalente à la PMS (mini 60 bars)	x	Quasi impossible	Catastrophique	Acceptable
Assez probable	Grave	Non acceptable	Technicien qualifié et connaissant le risque de haute pression	Flexibles adaptés et avec points d'ancrage (filin)	peu probable	peu grave	Acceptable
Assez probable	Grave	Non acceptable	Technicien qualifié et connaissant le risque de haute pression Et mise en place systématique d'un détendeur adapté sur la bouteille de charge	x	Quasi impossible	Grave	Acceptable
Assez probable	Grave	Non acceptable	Technicien qualifié et connaissant le risque de brûlure par les fluides réfrigérants	Port des EPI	peu probable	peu grave	Acceptable
Très probable	Grave	Non acceptable	Technicien qualifié et connaissant le risque de brûlure par les fluides réfrigérants	Port des EPI	assez probable	peu grave	Acceptable
Assez probable	Grave	Non acceptable	Technicien qualifié et connaissant le risque de brûlure	x	peu probable	Grave	Acceptable
Peu probable	Catastrophique	Non acceptable	Technicien qualifié avec connaissance du risque électrique	Aucune	Quasi impossible	Catastrophique	Acceptable
PHASE DE VIE : Utilisation							
Assez probable	Grave	Non acceptable	Affichage du danger grâce à une étiquette sur le produit	x	peu probable	Grave	Acceptable
Assez probable	Grave	Non acceptable	Autres possibilités par rapport à la ligne du dessus : Contrôler l'accès à la zone (modification de la catégorie d'accès de A vers B ou C) Clôture autour du produit	x	Quasi impossible	Grave	Acceptable

Note 2 : il peut être pertinent de décomposer une phase de vie en sous-phases de vie pour donner plus de finesse à l'analyse. Par exemple, en phase de vie maintenance, les sous-phases de vie peuvent être l'ensemble des opérations séquentielles réalisées par l'intervenant.

4.4.2 Deuxième exemple : un système à Débit de Réfrigérant Variable avec fluide R32

4.4.2.1 Description du système

Il s'agit d'un système de climatisation régulant la température de plusieurs bureaux (comme décrit dans la norme NF EN 378 partie 1 Annexe C articles C3). La détente directe est réalisée dans chaque local puisque le fluide réfrigérant est transporté jusqu'à l'échangeur du local qui sert d'évaporateur ou de condenseur. Dans les réseaux circule donc le fluide frigorigène et non pas de l'air froid ou chaud.

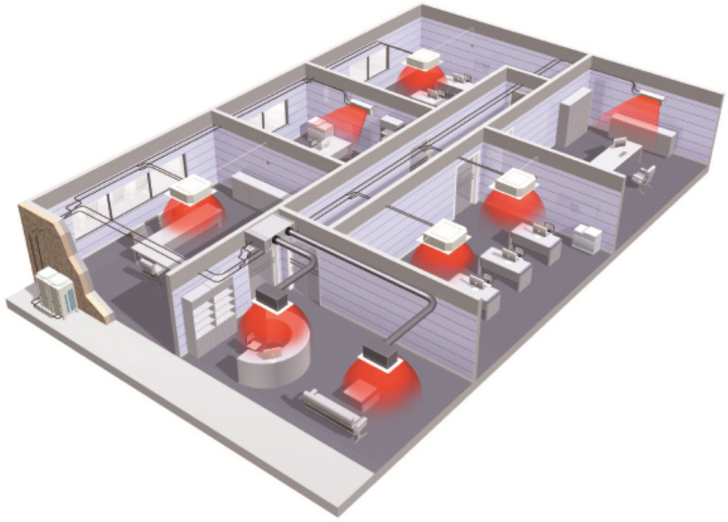


FIGURE 46 : Bureaux climatisés par un système DRV

FIGURE 47 : Système DRV utilisé pour la climatisation des bureaux

4.4.2.2 Données d'entrée

§ NF EN 378 : 2017	Données d'entrée	Système DRV avec fluide R32
§5.1 (partie 1)	**Catégorie d'accès**	
	Catégorie d'accès **(tableau 4)**	b
	Application/toxicité **(tableau C.1)**	Autre
	Application/inflammabilité **(tableau C.1)**	Confort
§5.2 (partie 1)	**Fluide frigorigène (Annexe E)**	
	Classe sécurité **(tableau E.1)**	A2L
	Groupe PED **(tableau E.1)**	1
§5.3 (partie 1)	**Emplacement systèmes frigorifiques**	
	Classe d'emplacement	Classe II
	Volume en m^3	–
	Surface en m^2	–
§5.4 (partie 1)	**Classification systèmes**	
	Classification complément 1	Système direct (PAC Air/Air)
	Complément système	–
§6 (partie 1)	**Quantité de fluide**	
	Masse de fluide contenue (kg)	Selon Annexe C partie 1 (article C3 – autres solutions)
–	**Données complémentaires**	
	Zone de risque pour le bâtiment	Néant
	Zone dans le bâtiment (risques)	Néant

FIGURE 48 : Tableau des données d'entrée pour l'analyse des risques

Remarque : la limite d'inflammabilité étant inférieure à la limite de toxicité, c'est donc l'inflammabilité qui doit être prise en compte dans le calcul de charge limite.

Informations complémentaires pour le remplissage du tableau :

- Le Fluide frigorigène : se référer à l'**Annexe E** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 :
  - la Classe de sécurité : se référer au **tableau E.1** de l'Annexe E partie 1,
  - le groupe PED : se référer au **Tableau E.1** de l'Annexe E partie 1.
- La catégorie d'accès : se référer au **tableau 4** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 § 5.1 :
  - l'application/toxicité : se référer au **tableau C.1** de la partie 1 Annexe C,
  - l'application/inflammabilité : se référer au **tableau C.2** de la partie 1 Annexe C.

4.4.2.3 Tableau d'analyse des risques

Phase de vie	Phénomène dangereux (cf note 1)	Situation dangereuse		Causes les plus probables (remarques sur les causes fabrication et conception)	Cause provoquant le danger ou risque en partant de la situation dangereuse	Classe emplacement de la machine (de I à IV)	Danger (ou risque)	Fréquence du danger
PHASE DE VIE : CONCEPTION – CONSTRUCTION (au sens INSTALLATION) / Hypothèse d'un système VRF au R32 installé dans des bureaux (code du travail) – préconisations Annexe C – articles C3 – partie 1 (autre solution pour la gestion des risques associés aux systèmes frigorifiques dans les espaces occupés) – Pour les fluides A2L charge système limitée à 195 LFL soit environ 60 kg								
Conception Construction (assemblage sur site) Installation	*Présence de fluide R32 classé 2L* *légèrement inflammable*	*fuite de réfrigérant dans/à...*	**l'espace occupé** *toute la charge se déverse à un rythme de 10 kg par heure maximum Partie 1 – article C.3.2 – note 1*	◗ *Soudure ou tuyauterie endommagée* ◗ *Rupture partielle d'une soudure ou assemblage* *Note : Dégradation ci-dessus résultante soit d'un défaut de conception usine, soit d'un défaut de soudure sur site, soit d'une fatigue de la tuyauterie*	**Apparition d'une flamme vive (chalumeau...)** *Nota : aucune étincelle ni électricité statique ne peuvent enflammer le R32 du fait d'une énergie trop faible*	*Classe II*	**Risque d'incendie dans le local** *(R32 = classe 2L légèrement inflammable) Fluide inflammable à partir de la limite LFL exprimée en kg/m3 mais jamais atteinte si mesures de préventions suivies. Au-delà de cette limite, le risque apparaît.*	*faible*
			*l'***air Libre**					*faible*
			les **gaines techniques** *ou* **trémies** *dans lesquels passent les canalisations frigorifiques*					*faible*
			le **local technique** *ou* **local étanche** *et séparé de l'espace occupé toute la charge se déverse à un rythme de 10 kg par heure maximum Partie 1 – article C.3.2 – note 1*					*faible*

Gravité du risque	Criticité	Mesure de prévention intrinsèque (EN60335-2-40, ISO 12100) *diminue la fréquence*	Autres mesures de protection (EN378) *diminue la gravité du risque*	Informations pour l'utilisation (EN378...) *diminue la gravité du risque*	Nouvelle fréquence	Nouvelle gravité	Nouvelle criticité
PHASE DE VIE : CONCEPTION – CONSTRUCTION (au sens INSTALLATION) / Hypothèse d'un système VRF au R32 installé dans des bureaux (code du travail) – préconisations Annexe C – articles C3 – partie 1 (autre solution pour la gestion des risques associés aux systèmes frigorifiques dans les espaces occupés) – Pour les fluides A2L charge système limitée à 195 LFL soit environ 60 kg							
Grave	*Non acceptable*		◗ *Etude de conformité EN378 par un professionnel (Bureau d'Etudes, Installateur...) qui limite la charge de réfrigérant en cas de fuite dans la zone la plus petite et en fonction des mesures de sécurité et le positionnement de cette pièce dans le bâtiment.* *Limites à considérer : RCL soit 61 gr/m3 ou bien QLMV soit 63 gr/m3 ou bien QLAV soit 150 gr/m3* *QLAV peut-être ponctuellement dépassée selon les circonstances mais nécessite a minima deux mesures de protections tel qu'une ventilation additionnelle devant être déclenchée par un détecteur EN378-3 articles 6.3.2.2, 6.3.2.3 et 6.3.3.3 avec pose éventuelle de vannes d'isolement frigorifiques et d'une alarme.* *Lire EN378-1 article C1 pour fluide catégorie A et valeurs tableau C3* *nota : lire aussi "autres mesures de protections", articles EN378-1-C3, EN378-3-articles 6 et 8, EN378-3 articles 5 et 9 concernant le local technique*	*Evacuation du bâtiment en cas d'alarme lire également EN 378-3 § 10*	*très faible*	*peu grave*	*Acceptable*
Grave	*Non acceptable*		◗ *Vérifier l'étanchéité du bâtiment (terrasse) et le système de ventilation (CTA, VMC...) pour éviter l'écoulement ou l'accumulation de réfrigérant vers les espaces occupés ou non du bâtiment* *lire EN378-3 article 4.2*	*Se tenir à l'écart de la fuite et prendre les dispositions nécessaires*	*très faible*	*peu grave*	*Acceptable*
Grave	*Non acceptable*	◗ *Appareils conformes norme machine EN60335-2-40*	◗ *Prévoir des sorties de secours à espaces réguliers* ◗ *Hauteur trémie minimale 1,2 mètre*	*Evacuer la zone et prendre les dispositions nécessaires*	*très faible*	*peu grave*	*Acceptable*
Grave	*Non acceptable*		◗ *Equiper le système frigorifique A 2L de systèmes de contrôles (voyant liquide et indicateur de pression) lire EN378-2 articles 6.2.7* ◗ *Le système doit satisfaire aux mesures EN378-3 articles 5.1 à 5.14 (voir quelques exemples ci-dessous) :* ◗ ***Interdit** d'utiliser cet espace comme d'une **zone de stockage** ou comme un espace occupé* ◗ *Ne pas installer d'autres équipements ou appareils à combustion* ◗ *Installation d'un **détecteur d'ambiance** suivant disposition (EN 378-3 § 9) et réaliser une étude de son positionnement (déclenchement à partir de 25 % de LFL)* ◗ *Assurer un **renouvellement d'air minimum** pour ne pas dépasser la valeur QLMV ou au minimal un renouvellement de 4 volumes/heure (EN378-3-5.13.5)* ◗ *Equiper la salle des machines d'un **système d'extraction d'urgence** (EN 378-3 § 5.13) activable en manuel via un interrupteur de secours et en automatique via une sonde de détection de fuite de réfrigérant (déclenchement à partir de 25 % de LFL)* ◗ *mise en place d'**interrupteurs d'arrêt d'urgence** (près de la machine et près de la porte du local)* ◗ *Si fuite détectée, **alarme visuelle et auditive** (+ 15 dBA vs ambiance) dans le local et à distance (Espace occupé, poste de gardien, GTB...)* ◗ *Equiper ce local d'une **sortie de secours** (EN378-3-5.14.5)* ◗ ***Alimentation électrique pour les équipements 2L séparée** et isolée sinon installation électrique conforme zones dangereuses* ◗ *Local seulement accessible par du **personnel qualifié*** ◗ ***Canalisations protégées** contre les dégradations accidentelles*	◗ *Inscrire dans la notice qu'il y a un accès réglementé lire EN 378-1 § 5.1.1* ◗ *Transmission du dossier technique (contrôles en service,...)* ◗ *Désignation des personnes à faire intervenir en cas d'alarme lire EN 378-3 § 10*	*très faible*	*peu grave*	*Acceptable*

Phase de vie	Phénomène dangereux (cf note 1)	Situation dangereuse		Causes les plus probables (remarques sur les causes fabrication et conception)	Cause provoquant le danger ou risque en partant de la situation dangereuse	Classe emplacement de la machine (de I à IV)	Danger (ou risque)	Fréquence du danger
Conception Construction (assemblage sur site) Installation	*Présence de fluide R32 classé A* *non toxique*	*fuite de réfrigérant dans/à...*	*l'***espace occupé** *toute la charge se déverse à un rythme de 10 kg par heure maximum Partie 1 – article C.3.2 – note 1*	◗ *Soudure ou tuyauterie endommagée* ◗ *Rupture partielle d'une soudure ou assemblage* *<u>Note :</u> Dégradation ci-dessus résultante soit d'un défaut de conception usine, soit d'un défaut de soudure sur site, soit d'une fatigue de la tuyauterie*	**Fuite de réfrigérant au delà de la limite autorisée (ATEL/ODL)**	*Classe II*	**Risque d'indisposition (Somnolence, vertige, maux de tête)** *(R32 = catégorie A dite non toxique) note : en dessous de la limite autorisée il est considéré que cela peut occasionner une gêne temporaire mais pas considéré comme nocif. Le danger apparaît une fois la limite ATEL dépassée, ce qui ne sera jamais le cas si les mesures de préventions sont suivies*	*faible*
			*l'***air Libre**					*faible*
			les **gaines techniques** *ou* **trémies** *dans lesquels passent les canalisations frigorifiques*					*faible*
			le **local technique** *ou* **local étanche** *et séparé de l'espace occupé* *toute la charge se déverse à un rythme de 10 kg par heure maximum Partie 1 – article C.3.2 – note 1*					*faible*

FIGURE 49 : Tableau d'analyse des risques

Note 1 : l'**Annexe 1** de ce guide fournit une liste de phénomènes dangereux.

Gravité du risque	Criticité	Mesure de prévention intrinsèque (EN60335-2-40, ISO 12100) *diminue la fréquence*	Autres mesures de protection (EN378) *diminue la gravité du risque*	Informations pour l'utilisation (EN378...) *diminue la gravité du risque*	Nouvelle fréquence	Nouvelle gravité	Nouvelle criticité
grave	*Non acceptable*		◗ *ATEL/ODL (limite de toxicité) = 300 gr/m3 (annexe E partie 1) jamais atteinte si les règles EN378-1 article C3 sont suivies*	*Evacuation du bâtiment en cas d'alarme lire également EN 378-3 § 10*	*très faible*	*peu grave*	*Acceptable*
grave	*Non acceptable*		◗ *Vérifier l'étanchéité du bâtiment (terrasse) et le système de ventilation (CTA, VMC...) pour éviter l'écoulement ou l'accumulation de réfrigérant vers les espaces occupés ou non du bâtiment lire EN378-3 article 4.2*	*Se tenir à l'écart de la fuite et prendre les dispositions nécessaires*	*très faible*	*peu grave*	*Acceptable*
grave	*Non acceptable*		◗ *Prévoir des sorties de secours à espaces réguliers* ◗ *Hauteur trémie minimale 1,2 mètre*	*Evacuer la zone et prendre les dispositions nécessaires*	*très faible*	*peu grave*	*Acceptable*
grave	*Non acceptable*	◗ *Appareils conformes norme machine EN60335-2-40*	◗ *Equiper le système frigorifique A 2L de systèmes de contrôles (voyant liquide et indicateur de pression) lire EN378-2 articles 6.2.7* ◗ *Le système doit satisfaire aux mesures EN378-3 articles 5.1 à 5.14 (voir quelques exemples ci-dessous) :* ◗ ***Interdit** d'utiliser cet espace comme d'une **zone de stockage** ou comme un espace occupé* ◗ *Ne pas installer d'autres équipements ou appareils à combustion* ◗ *Installation d'un **détecteur d'ambiance** suivant disposition (EN 378-3 § 9) et réaliser une étude de son positionnement (déclenchement à partir de 25 % de LFL)* ◗ *Assurer un **renouvellement d'air minimum** pour ne pas dépasser la valeur QLMV ou au minimal un renouvellement de 4 volumes/heure (EN378-3-5.13.5)* ◗ *Equiper la salle des machines d'un **système d'extraction d'urgence** (EN 378-3 § 5.13) activable en manuel via un interrupteur de secours et en automatique via une sonde de détection de fuite de réfrigérant (déclenchement à partir de 25 % de LFL)* ◗ *mise en place d'**interrupteurs d'arrêt d'urgence** (près de la machine et près de la porte du local)* ◗ *Si fuite détectée, **alarme visuelle et auditive** (+ 15 dBA vs ambiance) dans le local et à distance (Espace occupé, poste de gardien, GTB...)* ◗ *Equiper ce local d'une **sortie de secours** (EN378-3-5.14.5)* ◗ ***Alimentation électrique pour les équipements 2L séparée** et isolée sinon installation électrique conforme zones dangereuses* ◗ *Local seulement accessible par du **personnel qualifié*** ◗ ***Canalisations protégées** contre les dégradations accidentelles*	◗ *Inscrire dans la notice qu'il y a un accès réglementé lire EN 378-1 § 5.1.1* ◗ *Transmission du dossier technique (contrôles en service,...)* ◗ *Désignation des personnes à faire intervenir en cas d'alarme lire EN 378-3 § 10*	*très faible*	*peu grave*	*Acceptable*

4.4.2.4 Exemple de calcul de charge de fluide limite

§ NF EN 378 : 2017	Données d'entrée	Système frigorifique avec fluide R32
§5.1 (partie 1)	**Catégorie d'accès**	**Accès surveillé (bureaux privés)**
	Catégorie d'accès Application/toxicité Application/inflammabilité	b Limite de toxicité = 300 g/m^3 Limite inflammabilité retenue = 61 g/m^3
§5.2 (partie 1)	**Fluide frigorigène**	**R32**
	Classe sécurité Groupe PED	A2L 1
§5.3 (partie 1)	**Emplacement systèmes frigorifiques**	**Groupe situé à l'extérieur du bâtiment**
	Classe d'emplacement	Classe II
§5.4 (partie 1)	**Classification systèmes**	**Système direct (PAC Air/Air)**
	Classification complément 1 Complément système	– –
§6 (partie 1)	**Quantité de fluide**	
	Masse de fluide contenue (kg)	Selon Annexe C partie 1 (article C3 – autres solutions) Sur une base de 50 m^3, la charge maximale du système doit être de 7,5 kg sans système de sécurité additionnel. Il est toutefois admis que la charge totale puisse être supérieure sous réserve de prévoir au minimum deux systèmes de sécurité supplémentaires.
	Données complémentaires	
	Zone de risque pour le bâtiment Zone dans le bâtiment (risques)	Néant Néant

FIGURE 50 : Tableau des données d'entrée pour le calcul de la charge limite

Hypothèses de calcul

Application	Bureaux rattachés au centre commercial (confort)
	Surface 400 m² divisée en petits plateaux de bureaux, une grande salle de réunion et le bureau du responsable de site
	Bureaux situés au RDC et étage (R+1 sans sous-sol)
Catégorie accès	Catégorie b (accès surveillé)
Emplacement système	Catégorie 2 (groupe en local technique ou extérieur)
Système utilisé	Système VRF (de type système direct ou système direct gainé) correspondant à l'article préconisations de l'Annexe C – articles C3 – NF EN 378 : 2017 partie 1
Unités intérieures	Unités gainées dans les soffites ou faux plafonds
Espace le plus petit	20 m² (bureau responsable du site)
Réfrigérant A2L	Limite calculée sur la base de l'inflammabilité

FIGURE 51 : Tableau des hypothèses de calcul pour la limite de charge

Calcul limite de charge

Calcul limite de charge	Jusqu'à 150 g/m³ admissibles (valeur QLAV) si une seule mesure de protection est appliquée pour le RDC ou l'étage.
	Pour une surface de 20 m² ou 50 m³, cela correspond à une charge de 7,5 kg.
	Il est admis que le système puisse dépasser 7,5 kg de charge de R32 (lire article de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 article C.3.2.2), sous réserve d'appliquer au moins deux mesures de protection telles que des vannes frigorifiques qui segmentent le réseau ou un système de ventilation supplémentaire qui puisse garantir que le risque est éliminé en 15 minutes (lire article de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 article 3.7.11).
	Ce système de ventilation (ou ces vannes) devant être déclenché par les détecteurs de fuite.
	L'analyse de risque consiste à évaluer, en fonction des mesures de sécurité mises en œuvre et la manière dont les équipements interagissent entre eux, comment éliminer le risque dans le délai exigé.

FIGURE 52 : Tableau du calcul de la charge limite

Norme NF EN 378 : 2017 (partie 1) : article C.3.2 et tableau C.3 Norme NF EN 378 : 2017
La charge totale du système divisée par le volume de la salle ne doit pas dépasser la valeur de QLMV donnée dans le tableau C.3 à moins que des mesures appropriées ne soient prises.
Si l'étage le plus bas est au-dessous du niveau du sol, la valeur de RCL donnée dans le tableau C.3 doit être prise en compte.
Si la valeur dépasse la valeur de QLMV ou de RCL, des mesures appropriées doivent être prises conformément à C.3.2.2 ou C.3.2.3.
La mesure appropriée doit être une ventilation (naturelle ou mécanique), des soupapes d'arrêt de sûreté et une alarme de sécurité, associées à un dispositif de détection de gaz.
Voir la norme NF EN 378 : 2017, articles 6, 8, 9 et 10. Une alarme de sécurité seule ne doit pas être considérée comme une mesure appropriée lorsque les occupants sont limités dans leurs mouvements.
Voir la norme NF EN 378 : 2017 partie 3, 8.1

FIGURE 53 : Tableau des articles utiles de la norme NF EN 378 : 2017

Tableau C.3 — Charge admissible de fluide frigorigène

Fluide frigorigène	Concentration admissible (kg/m³) RCL	QLMV (kg/m³)	QLAV (kg/m³)
R-22	0,21	0,28	0,50 [a]
R-134a	0,21	0,28	0,58 [a]
R-407C	0,27	0,44	0,49 [a]
R-410A	0,39	0,42	0,42 [a]
R-744	0,072	0,074	0,18 [b]
R-32	0,061	0,063	0,15 [c]
R-1234yf	0,058	0,060	0,14 [c]
R-1234ze	0,061	0,063	0,15 [c]

a Basée sur l'ODL
b Basée sur une fraction volumique de 10 %
c Basée sur 50 % de la LFL

FIGURE 54 : Tableau C.3 extrait de la norme NF EN 378 des charges admissibles de fluide frigorigène

Norme NF EN 378 : 2017 (partie 1) : article C.3.2.2 Occupations, exceptées celles de l'étage le plus bas en sous-sol du bâtiment
Lorsque la charge de fluide frigorigène divisée par le volume de la salle ne dépasse pas la valeur de QLMV, aucune mesure supplémentaire n'est requise.
Lorsque la valeur est supérieure à celle de QLMV mais inférieure ou égale à la valeur de QLAV, au moins l'une des mesures décrites dans la norme NF EN 378 : 2017 partie 3, articles 6 et 8, doit être appliquée.
Lorsque la valeur dépasse la valeur de QLAV, au moins deux des mesures spécifiées doivent être appliquées.

FIGURE 55 : Article C.3.2.2 extrait de la norme NF EN 378 : 2017

Norme NF EN 378 : 2017 (partie 1) : article 3.7.11
Quantité limite avec ventilation supplémentaire QLAV.
Densité de charge de fluide frigorigène qui, lorsqu'elle est dépassée, engendre instantanément une situation dangereuse si la charge totale s'échappe dans l'espace occupé.
Note 1 à l'article : Voir l'article C.3 pour l'utilisation de la quantité limite avec ventilation supplémentaire (QLAV) pour gérer les risques associés aux systèmes dans des espaces occupés où le niveau de ventilation est suffisant pour disperser en 15 minutes les fuites de fluide frigorigène.

FIGURE 56 : Article 3.7.11 extrait de la norme NF EN 378 : 2017

4.4.3 Troisième exemple : système indirect utilisant un refroidisseur de liquide ou PAC avec fluide R1234ze

4.4.3.1 Description du système

Un refroidisseur de liquide (ou « chiller ») monobloc de forte puissance installé en salle des machines produit de l'eau glacée afin d'alimenter les unités de confort situées dans les boutiques et les bureaux annexes aux surfaces de vente. Ce refroidisseur utilise un fluide à très bas PRP de type HFO.

FIGURE 57 : Refroidisseur de liquide (ou chiller) utilisant le fluide HFO R1234ze

4.4.3.2 Données d'entrée

§ NF EN 378 : 2017	Données d'entrée	Refroidisseur de liquide eau/eau avec fluide R1234ze en salle des machines
§5.1 (partie 1)	**Catégorie d'accès**	
	Catégorie d'accès **(tableau 4)**	c (accès réservé)
	Application/toxicité **(tableau C.1)**	Autre
	Application/inflammabilité **(tableau C.1)**	Confort
§5.2 (partie 1)	**Fluide frigorigène (Annexe E)**	
	Classe sécurité **(tableau E.1)**	A2L
	Groupe PED **(tableau E.1)**	2
§5.3 (partie 1)	**Emplacement systèmes frigorifiques**	
	Classe d'emplacement	Classe III – Salle des machines ou air libre
	Volume en m^3	500
	Surface en m^2	100
§5.4 (partie 1)	**Classification systèmes**	
	Classification complément 1	Système indirect ventilé fermé
	Complément système	Non scellé
§6 (partie 1)	**Quantité de fluide**	
	Masse de fluide contenue (kg)	80
–	**Données complémentaires**	
	Zone de risque pour le bâtiment	Néant
	Zone dans le bâtiment (risques)	Néant

FIGURE 58 : Tableau des données d'entrée pour l'analyse des risques

Informations complémentaires pour le remplissage du tableau :

- Le Fluide frigorigène : se référer à l'**Annexe E** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 :
  - la Classe de sécurité : se référer au **tableau E.1** de l'Annexe E partie 1,
  - le groupe PED : se référer au **tableau E.1** de l'Annexe E partie 1.
- La catégorie d'accès : se référer au **tableau 4** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 § 5.1 :
  - l'application/toxicité : se référer au **tableau C.1** de la partie 1 Annexe C,
  - l'application/inflammabilité : se référer au **tableau C.2** de la partie 1 Annexe C.

Explications complémentaires concernant les valeurs ou hypothèses retenues :

- **Catégories d'accès** : Accès réservé « **c** ». Seules des personnes autorisées ont accès à l'emplacement du refroidisseur de liquide (PAC). La norme NF EN 378 : 2017 cite l'exemple des « zones non accessibles au public dans les supermarchés ».
- **Classe d'emplacement du système** : Classe III – Salle des machines ou air libre. Si le système était indirect fermé, la classe d'emplacement serait I ou II.

- **Classe du système** : Système frigorifique indirect ventilé fermé, (ou indirect ventilé ou indirect double).

Rappel (§ 5.4 partie 1) : dans un système indirect ventilé fermé, (ou indirect ventilé), le circuit de fluide caloporteur est équipé de dispositif(s) limitant la pression ou de purgeur(s) permettant d'empêcher les fuites de fluide frigorigène vers l'espace occupé.

Avertissement : si le circuit de fluide caloporteur n'est pas équipé des dispositifs indiqués ci-dessus, le système est alors indirect fermé avec l'impact signalé ci-dessus sur la classification de l'emplacement du système.

- **Fluide frigorigène et classe de sécurité (NF EN 378 : 2017 partie 1 Annexe E) :**
  - le fluide utilisé est le : R1234ze,
  - la classe de sécurité est : A2L,
  - le groupe de fluide directive Équipements sous pression est : 2.

En général, un fluide classé A2L dans la norme NF EN 378 : 2017 est dans le groupe 1 de la classification PED. À ce jour, deux fluides, le R30 (chlorure de méthylène) et le R1234ze, ont la particularité d'être classé 2(L) et dans le groupe 2 pour la PED. La raison est liée aux conditions d'essai considérées par la norme ISO 817. Elles sont différentes de celles prises en compte pour le classement selon le règlement CLP (CE) 1272/2008 qui sert de base à la PED (2014/68/UE).

- **Autres données d'entrée :** en complément des données d'entrée essentielles communes ci-dessus, l'ensemble de la norme NF EN 378 : 2017 doit être pris en compte. Les parties 1 et 3 évoquent la plus grande part des données concernant l'installation hors intervention et maintenance **(partie 4)**.

La documentation technique, en particulier, fournit des informations concernant le produit à installer et les précautions minimales de manutention, stockage, installation, raccordement et mise en service ou toute autre recommandation fournie par le fabricant.

4.4.3.3 Tableau d'analyse des risques

Dans le tableau d'analyse des risques ci-après, il apparaît uniquement la phase de vie « installation » mais l'installateur doit également traiter les risques que ses activités peuvent créer dans d'autres phases de vie (« fonctionnement », « maintenance »...).

La matrice de détermination de criticité du risque utilisée est celle du § 3.1.5 présentant l'analyse de risque étape 3 **(cf. Figure 23)**.

Les valeurs retenues dans le tableau ne sont pas adoptées a priori mais doivent résulter d'une réflexion s'appuyant sur toutes les données du projet, la qualification de l'intervenant et les documents de référence nécessaires dont la plupart sont mentionnés dans ce guide et dans la norme NF EN 378 : 2017.

Les données d'entrée du fluide R1234ze et classe de sécurité A2L pour un système indirect ventilé fermé placé en salle des machines (ou à l'air libre) permettent de confirmer qu'aucune restriction de charge n'est prévue par les **tableaux C1** et **C2** de l'Annexe C de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1. Cette absence de limite est rendue possible par les dispositions prescrites dans la norme NF EN 378 : 2017 partie 3 concernant les salles de machines et rappelée dans l'analyse des risques de l'exemple.

Concernant le stockage sur site avant le raccordement et la mise en service : la norme NF EN 378 : 2017 partie 3 § 5.5 rappelle que tous les fluides frigorigènes ou les matériaux inflammables (ou toxiques) doivent être stockés conformément aux réglementations nationales. Pour le stockage du fluide hors de la machine (machine livrée vide ou charge à terminer), la référence est également sa classification par le CLP (CE) 1272/2008. Dans cet exemple, le fluide R1234ze n'est pas considéré comme inflammable par ce règlement comme l'indique la fiche de sécurité de ce fluide.

Phase de vie	Sous phase de vie (cf note 2)	Phénomène dangereux (cf note 1)	Situation dangereuse	Cause provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Classe de l'emplacement de la machine (de I à IV)	Risque	Cause provoquant le passage de la situation dangereuse au risque
PHASE DE VIE : Installation, Sous phase de vie : réception, stockage et implantation							
Installation	Réception-Stockage-Implantation	Fluide frigorigène A2L	Fuite lente de fluide A2L (atteignant la concentration limite d'inflammabilité LFL)	Dégradation d'un joint	Classe III – Salle machines ou air libre	Inflammation faible	Présence d'une source d'inflammation dans l'air atteignant
			Fuite importante de fluide A2L (atteignant la concentration limite d'inflammabilité LFL)	Rupture d'une tuyauterie (choc,...)		Inflammation plus importante	Présence d'une source d'inflammation dans l'air atteignant
			Fuite importante de fluide A2L (atteignant la concentration limite d'inflammabilité LFL)	Ouverture d'une soupape (source externe de chaleur)		Inflammation plus importante	Présence d'une source d'inflammation dans l'air atteignant
			Fuite lente de fluide A2L (atteignant la limite de privation d'oxygène ODL)	Dégradation d'un joint		Anoxie d'une personne	Présence d'une personne dans la zone de manque d'oxygène
			Fuite importante de fluide A2L (atteignant la limite de privation d'oxygène ODL)	Rupture d'une tuyauterie (choc,...)		Anoxie d'une personne	Présence d'une personne dans la zone de manque d'oxygène
			Fuite importante de fluide A2L (atteignant la limite de privation d'oxygène ODL)	Ouverture d'une soupape (source externe de chaleur)		Anoxie d'une personne	Présence d'une personne dans la zone de manque d'oxygène
PHASE DE VIE : Installation, Sous phase de vie : raccords, vérifications préliminaires							
Installation	Raccords – Vérifications Préliminaires	Fluide frigorigène A2L	Grosse fuite de fluide A2L (dépassement de la limite inférieure d'explosivité)	Manipulation erronée (casse d'un raccord,...)	Classe III – Salle machines ou air libre	Explosion	Création d'une source d'inflammation (étincelle de meulage, opération de soudure ou de brasage,...)
			Fuite importante de fluide A2L (atteignant la limite de privation d'oxygène ODL)	Manipulation erronée (casse d'un raccord,...)		Anoxie d'une personne	Ventilation insuffisante ou non opérationnelle
PHASE DE VIE : Installation, Sous phase de vie : mise en service et contrôles							
Installation	Mise en service et contrôles (charge ou appoint de charge en fluide frigorigène)	Fluide frigorigène A2L	Grosse fuite de fluide A2L (dépassement de la limite inférieure d'explosivité)	Raccordement d'un flexible mal réalisé (erreur de manipulation,...)	Classe III – Salle machines ou air libre	Explosion	Création d'une source d'inflammation (opération de soudure,...)
			Fuite importante de fluide A2L (atteignant la limite de privation d'oxygène ODL)	Mauvais réglage des outils de contrôle (montage d'une soupape de sécurité non adaptée)		Anoxie d'une personne	Ventilation insuffisante ou non opérationnelle

FIGURE 59 : Tableau d'analyse des risques

Note 1 : l'**Annexe 1** de ce guide fournit une liste de phénomènes dangereux.

Note 2 : il peut être pertinent de décomposer une phase de vie en sous-phases de vie pour donner plus de finesse à l'analyse. Par exemple, en phase de vie maintenance, les sous-phases de vie peuvent être l'ensemble des opérations séquentielles réalisées par l'intervenant.

Fréquence du risque	Gravité du risque	Criticité du risque	Mesures diminuant la probabilité d'apparition du risque (mesure préventive)	Mesures diminuant la gravité du risque (mesure corrective)	Nouvelle fréquence	Nouvelle gravité	Nouvelle criticité
PHASE DE VIE : Installation, Sous phase de vie : réception, stockage et implantation							
Peu probable	Grave	Pas critique	Vérification de l'état de l'appareil à la réception. Lieu de stockage aéré (ventilation naturelle)	–	Improbable	Catastrophique	Pas critique
Improbable	Critique	Pas critique	–	–	–	–	–
Improbable	Critique	Pas critique	–	–	–	–	–
Improbable	Catastrophique	Pas critique	–	–	–	–	–
Peu probable	Catastrophique	Critique	Respecter les instructions du fabricant lors du levage et du stockage Effectuer une ventilation du	–	Improbable	Catastrophique	Pas critique
Improbable	Catastrophique	Pas critique	–	–	–	–	–
PHASE DE VIE : Installation, Sous phase de vie : raccords, vérifications préliminaires							
Improbable	Catastrophique	Pas critique	–	–	–	–	–
Peu probable	Catastrophique	Critique	Qualification personnel (et matériel). Aération du local. Intégrer la gestion de ce risque dans le plan de prévention prévu (article R4512-6 du code	–	Improbable	Catastrophique	Non critique
PHASE DE VIE : Installation, Sous phase de vie : mise en service et contrôles							
Improbable	Catastrophique	Pas critique	–	–	–	–	–
Peu probable	Catastrophique	Critique	Formation du personnel aux outils et réalisation de check lists détaillées Vérifier activation de la ventilation avant intervention	–	Improbable	Catastrophique	Non critique

Conclusion – Synthèse de l'analyse de risques : le lecteur peut voir qu'en respectant les précautions essentielles de base rappelées dans ce tableau d'analyse de risques pour les exemples de « cause provoquant l'apparition de la situation dangereuse », le risque peut être considéré comme maîtrisé pour les phases et sous-phases de vie de notre exemple.

Cet exemple rappelle également que pour les fluides non ou peu inflammables et non toxiques couramment désignés comme « non dangereux », le risque d'anoxie ne doit pas être oublié ni même négligé.

Pour d'autres causes, situations dangereuses ou risques durant la phase de vie « installation » et « fonctionnement » du système, le tableau « Principales mesures de réduction du risque apportées par la norme NF EN 378 : 2017 », sans être exhaustif, fournira une aide supplémentaire au lecteur.

4.4.4 Principales mesures de réduction du risque apportées par la norme NF EN 378 : 2017

Risque couvert : phases de vie « installation in situ » et « fonctionnement »	Mesure de réduction du risque	Paragraphe de la norme NF EN 378 : 2017 où la mesure est citée	Remarques
Tous types de risques relatifs à la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement	Respect des contraintes sur la conception, la construction et l'installation du système frigorifique dans son ensemble	§6.2 (partie 2) et éventuellement Annexe A (pour des systèmes frigorifiques utilisant du fluide R717)	La norme apporte des exigences très variées qui doivent être respectées par le concepteur, le constructeur et l'installateur du système frigorifique. Ces exigences portent sur la réalisation d'essais, de tests (étanchéité…), d'étiquettes à poser…
Tous types de risques relatifs à la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement	Respect des contraintes sur la conception (et la construction) du système frigorifique et qui portent sur les composants et la tuyauterie	§5.2 (partie 2)	La norme apporte des exigences générales (les composants doivent respecter les exigences de référentiels qui sont cités) et apporte également des exigences spécifiques (la norme précise elle-même les exigences à respecter). Les contraintes spécifiques portent sur : ◗ les matériaux des composants ; ◗ les essais à réaliser sur ces composants (résistance à la pression…) ; ◗ l'information à produire sur ces composants. Exemple de l'impact d'une mesure de réduction du risque : la réalisation d'un test d'étanchéité sur un composant contribue à diminuer la fréquence d'apparition d'un risque lié à une fuite. En effet, suite à ce test, si les résultats ne sont pas conformes à l'attendu, des mesures de fiabilisation du composant pourront être prises. ☞

Risque couvert : phases de vie « installation in situ » et « fonctionnement »	Mesure de réduction du risque	Paragraphe de la norme NF EN 378 : 2017 où la mesure est citée	Remarques
Risques liés à des fluides inflammables (inflammation et explosion)	Mise en place de détecteurs de fluide frigorigène et position conforme aux prescriptions de la norme NF EN 378 : 2017	§9 (partie 3)	Le détecteur peut (et doit dans certains cas) être relié à une alarme ou à un système de ventilation.
	Mise en place d'une ventilation de ou dans la salle des machines	§5.2 (partie 3)	La ventilation peut aussi être une mesure de réduction du risque pour d'autres types d'espaces : espace occupé, gaine technique, local technique, salle des machines.
	Mise en place d'une ventilation dans d'autres espaces que la salle des machines	§4.2 §4.4 §4.5 et § 4.6 (partie 3)	
	Mise en place d'équipements supplémentaires	§5.14 (partie 3)	Ces équipements supplémentaires concernant la salle des machines : une ventilation d'urgence, systèmes d'extincteurs…
	Mise en place d'un système de coupure de l'alimentation lorsque le seuil limite est dépassé	§7.3 (partie 3)	
	Mise en place d'un système frigorifique ayant une charge de fluide compatible avec le volume de la pièce où il est installé	Annexe C (partie 3)	Il est important de prendre en compte les équipements ou systèmes déjà présents et le cas échéant les extensions prévues.
	Contrôle du calcul des volumes des locaux (techniques, espaces occupés…)	§7 (partie 1) Annexe C (partie 1)	C'est la responsabilité du concepteur de l'installation et ensuite de l'exploitant de s'assurer que la communication réelle entre les volumes est bien celle attendue par la norme.

Risque couvert : phases de vie « installation in situ » et « fonctionnement »	Mesure de réduction du risque	Paragraphe de la norme NF EN 378 : 2017 où la mesure est citée	Remarques
Risques liés à un dépassement d'un niveau de concentration qui entraîne des effets nuisibles pour les personnes, les biens et l'environnement (toxicité par inhalation du fluide frigorigène, inflammation ou explosion…).	Mise en place de détecteurs de fluide frigorigène et position conforme aux prescriptions de la norme NF EN 378 : 2017	§9 (partie 3)	
	Mise en place d'une ventilation de ou dans la salle des machines	§5.2 (partie 3)	
	Mise en place d'une ventilation dans d'autres espaces que la salle des machines	§4.2 §4.4 §4.5 et § 4.6 (partie 3)	
Tous types de risques relatifs à la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement	Accès limité aux salles des machines	§5.1 (partie 3)	Il revient à l'exploitant de s'assurer que l'accès aux salles des machines est réglementé. En effet, la salle des machines ne doit pas être considérée comme un espace occupé.
Tous types de risques relatifs à la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement	Définition de catégories d'accès	§5.1 (partie 1)	La définition de catégories d'accès est à déterminer par l'exploitant (si c'est un professionnel exploitant), sinon elle incombe à l'installateur (si l'exploitant est un particulier).
Tous types de risques relatifs liés à un bâtiment situé dans une zone à risque (sismique, vents forts…)	Les supports et socles des systèmes frigorifiques doivent avoir une résistance mécanique suffisante pour supporter les forces extérieures	§6.2 (partie 2)	La définition des zones à risques est une donnée d'entrée pour l'analyse des risques de l'installateur (données à fournir par l'exploitant).
Risques d'incendie ou d'explosion	Utilisation et placement adéquat du matériel électrique	§6.2.14 (partie 2)	

☞

Risque couvert : phases de vie « installation in situ » et « fonctionnement »	Mesure de réduction du risque	Paragraphe de la norme NF EN 378 : 2017 où la mesure est citée	Remarques
Tous types de risques relatifs à la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement	Accès limité aux salles des machines	§5.1 (partie 3)	Il revient à l'exploitant de s'assurer que l'accès aux salles des machines est réglementé. En effet, la salle des machines ne doit pas être considérée comme un espace occupé.
Risques « fuite » : risques consécutifs à une fuite (étanchéité défaillante)	Contraintes sur les joints de tuyauterie	§5.2.2.3 et § 6.2.3.2 (partie 2)	

Remarque : les règles de base imposées par la norme NF EN 378 : 2017 pour le calcul de charge limite suivant l'**Annexe C** partie 1 sont expliquées dans ce guide au **§ 3.2.6**.

4.4.5 Exemples de calcul de charge

Les exemples sont réalisés en suivant les **Annexes C2** et **C3** de la norme NF EN 378 : 2017. Les **tableaux C.2** (ou **C.1**) précisent les cas où l'application des **Annexes C.2** et **C.3** est possible. Pour ces cas spécifiques, la norme prévoit sous certaines conditions d'adapter le calcul de la charge limite.

Exemple 1 de calcul : dans l'**Annexe C3** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1, s'il y a un espace sous la porte de la pièce où se trouve l'unité intérieure, une alternative de calcul sera autorisée au-delà de la limite RCL ou Limite de Concentration de Réfrigérant. Cette alternative consiste à considérer que des systèmes de sécurité additionnels permettront une charge totale de réfrigérant supérieure dans le système et ceci avec un risque maîtrisé.

Avertissement concernant les volumes à prendre en compte pour le calcul des limites de charges (et pour la ventilation) : la norme donne des indications concernant la communication entre locaux, faux plafonds et le calcul des volumes pris en compte pour définir les limites de charge (les portes détalonnées par exemple). Il est de la responsabilité du concepteur de l'installation, de l'installateur et ensuite de l'exploitant de s'assurer que la communication réelle entre les volumes est celle attendue par la norme et qu'elle est maintenue dans le temps.

La première limite est appelée QLMV (Quantité limite de réfrigérant avec ventilation minimale). En général, pour les réfrigérants A2L comme le R32, la valeur de QLMV est légèrement supérieure à celle de RCL. Ainsi avec un RCL de 0,061 kg/m^3, la valeur de QLMV du R32 passe à 0,063 kg/m^3, soit une hausse de seulement 3 % environ. Si cette valeur de QLMV doit être utilisée comme limite, alors l'unité intérieure doit disposer des améliorations déjà indiquées telles que la protection contre les dommages standards (dégradation accidentelle, protection de prise en glace de l'échangeur intérieur, protection casse du moteur de ventilation, ventilation minimale assurée...). Il est possible d'aller encore au-delà de cette valeur en utilisant le mode de calcul QLAV (Quantité limite avec ventilation additionnelle), en comprenant bien qu'une ventilation (ou un débit additionnel de ventilation) ne sera pas suffisante à elle seule. Il ne faut pas se laisser ici abuser par la formulation.

Pour le R32, la limite correspond à 50 % x LFL, ce qui est beaucoup plus élevé que la valeur de RCL basée sur 20 % x LFL. Ainsi la quantité de R32 admise par mètre cube augmente à 150 g. En général, pour les réfrigérants 2L, les valeurs de QLMV sont très proches et légèrement supérieures à la valeur de RCL alors que les valeurs de QLAV (avec mesures additionnelles de sécurité) sont plus élevées suivant un facteur moyen de 2.5.

Exemple 2 de calcul : dans la partie 1 de la norme NF EN 378 : 2008, la quantité de réfrigérant A2 autorisée dans un « espace occupé par des personnes » pour la réfrigération/climatisation était :

« Charge maximale = limite pratique x vol. Pièce et n'excédant pas 38 x LFL. ».

Pour le réfrigérant R-1234yf, indiqué dans l'Annexe E comme un réfrigérant A2, la LFL est de 0,299 kg/m^3 avec une limite de 11,36 kg. Dans la norme NF EN 378 : 2017, la quantité de réfrigérant autorisée pour une application est :

« 20 % x LFL x Volume de la pièce sans dépasser m2 x 1.5 »

Le facteur m2 correspond à 26 m^3 x LFL (valeur de LFL énumérée dans l'Annexe E pour le R-1234yf mise à jour à 0,289 kg/m^3) et donc à 11,27 kg d'où une différence minime de 90 g seulement avec la précédente version.

L'analyse pour les systèmes destinés au « confort humain » est légèrement plus compliquée car de nouvelles méthodes de calcul doivent être considérées. Dans la norme NF EN 378 : 2008, une méthode de calcul supplémentaire avait été utilisée dans le cadre d'applications dites de confort humain pour les fluides inflammables uniquement. Cette équation est basée sur des études empiriques de fuites et sert à calculer la charge maximale admissible avec l'aide de la valeur LFL, du volume de la pièce et un facteur lié à la hauteur d'installation des équipements. L'équation est :

$$m_{max} = 2{,}5 \times LFL^{5/4} \times h_0 \times A^{1/2}$$

Il n'existe pas de limite supérieure mais il faut considérer une limite inférieure d'application de cette équation à 4 x LFL, soit 1,224 kg par exemple pour le R32. Au-dessous de cette limite s'appliquent les exigences de la norme IEC 60335-2-40 et non plus la norme NF EN 378 : 2017.

La méthodologie de base pour le « confort humain » est conservée dans la version 2017 mais la limite inférieure a été augmentée à 6 x LFL pour les fluides frigorigènes 2L mais reste à 4 x LFL pour tous les autres réfrigérants inflammables. Et surtout, une limite supérieure de 39 x LFL pour les fluides 2L a été instaurée, et une limite de 26 x LFL pour les autres fluides inflammables. Un rapport de 1.5 entre les deux formules a été proposé pour tenir compte de la caractéristique « faiblement inflammable » des fluides 2L par rapport aux fluides classés 2, d'où des limites repoussées.

4.5 Phase de vie « fonctionnement »

4.5.1 Généralités

Cette phase de vie correspond à la situation où le système frigorifique est exploité sur site. Le lecteur pourra se reporter principalement aux parties 1 et 4 de la norme NF EN 378 : 2017.

L'analyse des risques réalisée par l'exploitant reprend la plupart des risques identifiés par les autres intervenants du cycle de vie sur le même système frigorifique. La différence résidera dans les niveaux de risques (cotés plus bas ou plus haut) et dans les mesures de réduction du risque qui sont prises (les leviers que l'exploitant peut actionner).

Exemple : l'analyse des risques identifie la possibilité d'une fuite d'un fluide toxique ou qui présente le risque d'anoxie (comme le CO_2). Le risque possède une gravité maximale. S'il a été estimé que la cause de la fuite provient d'une maintenance non réalisée ou mal réalisée, la mesure de réduction du risque que l'exploitant (souvent le propriétaire de l'installation) doit mettre en œuvre consistera à s'assurer qu'un plan de maintenance est défini et avec une périodicité suffisante. Les erreurs de manipulation lors d'une intervention de maintenance ne sont pas à prendre en compte par l'exploitant. Cela doit, en revanche, apparaître dans l'analyse des risques de la société en charge de la maintenance.

En complément de l'exemple ci-après, le lecteur pourra se reporter sur les exemples d'analyse des risques donnés dans la phase de vie « conception » (qui prend en compte une phase de fonctionnement : « en opération », « en arrêt »...) et dans la phase « installation ».

4.5.2 Tableau d'analyse des risques d'un système direct utilisant un refroidisseur de liquide ou PAC avec fluide R1234ze

Le même exemple qu'au § 4.4.3 est repris mais pour la phase de vie « fonctionnement ». En conséquence, l'analyse des risques concerne l'exploitant du refroidisseur de liquide et non l'installateur. Les mesures de réduction des risques ne sont donc pas les mêmes.

Concernant le risque d'inflammation, sa gravité et sa fréquence sont augmentées par rapport à la phase « installation » à cause du fonctionnement des éléments du système. Toutefois, après application de certaines mesures de réduction du risque exigées par la norme NF EN 378 : 2017 (mise en place d'une ventilation et d'une détection du fluide), l'occurrence du risque devient « improbable ». La coupure de l'alimentation électrique à 25 % de la LFL réduit à la fois la fréquence et la gravité du risque.

Phase de vie	Sous phase de vie (cf note 2)	Phénomène dangereux (cf note 1)	Situation dangereuse	Cause provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Classe de l'emplacement de la machine (de I à IV)	Risque	Cause provoquant le passage de la situation dangereuse au risque
PHASE DE VIE : Fonctionnement							
Fonctionnement	Utilisation du système	Fluide frigorigène A2L	Fuite lente de fluide A2L (atteignant la concentration limite d'inflammabilité LFL)	Dégradation d'un joint	Classe III – Salle machines ou air libre	Inflammation	Présence d'une source d'inflammation dans l'air atteignant la limite inférieure d'inflammabilité
			Fuite importante de fluide A2L (atteignant la concentration limite d'inflammabilité LFL)	Rupture d'une tuyauterie (choc,...)		Inflammation plus rapide	Présence d'une source d'inflammation dans l'air atteignant la limite inférieure d'inflammabilité
			Fuite importante de fluide A2L (atteignant la concentration limite d'inflammabilité LFL)	Ouverture d'une soupape non raccordée (suite à une maintenance non conforme) et présence d'une source de chaleur extérieure		Inflammation plus rapide	Présence d'une source d'inflammation dans l'air atteignant la limite inférieure d'inflammabilité
			Fuite lente de fluide A2L (atteignant la limite de privation d'oxygène ODL) : cf note 2	Dégradation d'un joint		Anoxie d'une personne	Présence d'une personne dans la zone de manque d'oxygène
			Fuite importante de fluide A2L (atteignant la limite de privation d'oxygène ODL) : cf note 2	Rupture d'une tuyauterie (choc,...)		Anoxie d'une personne	Présence d'une personne dans la zone de manque d'oxygène

FIGURE 60 : Tableau d'analyse des risques

Note 1 : l'**Annexe 1** de ce guide fournit une liste de phénomènes dangereux.

Note 2 : il peut être pertinent de décomposer une phase de vie en sous-phases de vie pour donner plus de finesse à l'analyse. Par exemple, en phase de vie maintenance, les sous-phases de vie peuvent être l'ensemble des opérations séquentielles réalisées par l'intervenant.

Fréquence du risque	Gravité du risque	Criticité du risque	Mesures diminuant la probabilité d'apparition du risque (mesure préventive)	Mesures diminuant la gravité du risque (mesure corrective)	Nouvelle fréquence	Nouvelle gravité	Nouvelle criticité
PHASE DE VIE : Fonctionnement							
Peu probable	Critique	Critique	Vérification du fonctionnement de la ventilation pour les conditions normales suivant 5.13.2 partie 3 (4 renouvellements/heure).	–	Improbable	Critique	Pas critique
Peu probable	Critique	Critique	Vérification du bon fonctionnement de la détection de fluide et de la ventilation d'urgence (selon NF EN 378 Partie 3 Point 9.3)	–	Improbable	Critique	Pas critique
Peu probable	Critique	Critique	Vérification du raccordement des soupapes aux tuyauteries de décharge vers l'extérieur (selon NF EN 378-2017 point 6.2.6.6.5 de la partie 2).	–	Improbable	Critique	Pas critique
Peu probable	Catastrophique	Critique	Vérification du bon fonctionnement de la ventilation pour les conditions normales (suivant 5.13.2 partie 3 : 4 renouvellements/heure). Effectuer des recherches périodiques de fuite (selon NF EN 378 partie 4 Annexe D et réglementations en vigueur)	–	Improbable	Catastrophique	Pas critique
Peu probable	Catastrophique	Critique	Vérification du bon fonctionnement de la détection de fluide et de la ventilation d'urgence (selon NF EN 378 Partie 3 Point 9.3)	–	Improbable	Catastrophique	Pas critique

Les mesures de réduction du risque préconisées par la norme NF EN 378 : 2017 apparaissent dans la partie 4.

4.6 Phase de vie « maintenance ou réparation »

Cette phase de vie correspond à la situation où le système frigorifique doit subir une intervention de maintenance (préventive ou corrective). Le lecteur se reportera principalement aux parties 1 et 4 de la norme NF EN 378 : 2017.

4.6.1 Premier exemple : un meuble frigorifique de vente avec fluide R290

4.6.1.1 Description du système

Cette première analyse des risques porte sur une intervention de maintenance dont l'objectif est de réparer une fuite sur le raccord de charge du compresseur d'un Meuble frigorifique de vente (MFV). Le fluide frigorigène contenu dans le MFV est un fluide hydrocarbure (R290).

Type de matériel	EXEMPLE DE MATERIELS	Type d'emplacement	Classification de l'emplacement (annexe C, EN378-1)	Catégorie d'accès (tableau 4, §5.1, EN378-1)
Meuble frigorifique de vente (MFV) **Fluide R290**		Espace de vente	Classe I	a

FIGURE 61 : Meuble frigorifique de vente

4.6.1.2 Données d'entrée

§ NF EN 378 : 2017	Données d'entrée	Meuble frigorifique de vente avec fluide R290
§5.1 (partie 1)	**Catégorie d'accès**	
	Catégorie d'accès **(tableau 4)**	a
	Application/toxicité **(tableau C.1)**	–
	Application/inflammabilité **(tableau C.1)**	Autres applications
§5.2 (partie 1)	**Fluide frigorigène (Annexe E)**	
	Classe sécurité **(tableau E.1)**	A3
	Groupe PED **(tableau E.1)**	1
§5.3 (partie 1)	**Emplacement systèmes frigorifiques**	
	Classe d'emplacement	Ib ou IIIb (selon le type d'intervention)
	Volume en m^3	Réserve : 1200 ou extérieur
	Surface en m^2	400
§5.4 (partie 1)	**Classification systèmes**	
	Classification complément 1	Système direct
	Complément système	Néant
§6 (partie 1)	**Quantité de fluide**	
	Masse de fluide contenue (kg)	0,15
–	**Données complémentaires**	
	Zone de risque pour le bâtiment	Néant
	Zone dans le bâtiment (risques)	Néant

FIGURE 62 : Tableau des données d'entrée pour l'analyse des risques

Informations complémentaires pour le remplissage du tableau :

- Le Fluide frigorigène : se référer à l'**Annexe E** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 :
  - la Classe de sécurité : se référer au **tableau E.1** de l'Annexe E partie 1,
  - le groupe PED : se référer au **tableau E.1** de l'Annexe E partie 1.
- La catégorie d'accès : se référer au **tableau 4** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 § 5.1 :
  - l'Application/toxicité : se référer au **tableau C.1** de la partie 1 Annexe C,
  - l'Application/inflammabilité : se référer au **tableau C.2** de la partie 1 Annexe C.

4.6.1.3 Tableau d'analyse des risques

Phase de vie	Sous phase de vie (cf note 2)	Phénomène dangereux (cf note 1)	Situation dangereuse	Cause provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Classe de l'emplacement de la machine (de I à IV)	Risque	Cause provoquant le passage de la situation dangereuse au risque
PHASE DE VIE : Maintenance							
Intervention de maintenance corrective fuite sur raccord à sertir de la queue de charge compresseur	Déplacement du meuble (intervention dans la réserve)	Présence d'un comburant et d'un carburant (fluide fortement inflammable)	rejet du fluide restant dans l'ambiance	fluide non soumis à la FGAZ et code de l'environnement	I, b	brûlure de l'intervenant	Étincelles d'origine mécanique ou électricité statique (erreur opérateur lié à un non-respect des protocoles d'intervention)
	OU Déplacement du meuble (intervention à l'extérieur)				III, b	brûlure de l'intervenant et/ou d'une personne à proximité	Étincelles d'origine mécanique ou électricité statique (erreur opérateur lié à un non-respect des protocoles d'intervention ou erreur personne à proximité)

FIGURE 63 : Tableau d'analyse des risques

Note 1 : l'**Annexe 1** de ce guide fournit une liste de phénomènes dangereux.

Note 2 : il peut être pertinent de décomposer une phase de vie en sous-phases de vie pour donner plus de finesse à l'analyse. Par exemple, en phase de vie maintenance, les sous-phases de vie peuvent être l'ensemble des opérations séquentielles réalisées par l'intervenant.

4.6.2 Deuxième exemple : une centrale avec fluide R744

4.6.2.1 Description du système

La deuxième analyse des risques porte sur une intervention de maintenance sur une centrale au CO_2. L'objectif est de réaliser une vidange d'huile des compresseurs de la centrale.

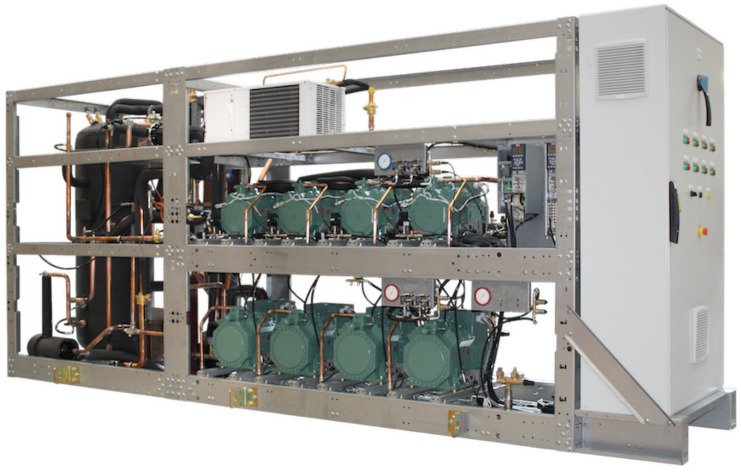


FIGURE 64 : Centrale au CO_2

Fréquence du risque	Gravité du risque	Criticité du risque	Mesures diminuant la probabilité d'apparition du risque (mesure préventive)	Mesures diminuant la gravité du risque (mesure corrective)	Nouvelle fréquence	Nouvelle gravité	Nouvelle criticité
PHASE DE VIE : Maintenance							
assez probable	grave	Non acceptable	1) Repérez, avant toute intervention, la nature du fluide frigorigène. 2) baliser la zone de travail 3) intervention réalisée par une personne ayant reçu la formation ou l'information adéquate (fiche de données de sécurité : FDS) 4) N'entreprendre l'intervention sur le circuit réfrigérant qu'à condition de disposer du matériel adapté : le chalumeau et la pince à braser sont absolument proscrits 5 Ventiler le local ◗ Absence de toute source de chaleur élevée ou étincelles.		peu probable	grave	acceptable
assez probable	grave	Non acceptable	En plus des quatre premiers points ci-dessus, vérifier qu'il n'y a pas de source de chaleur à proximité : présence d'un fumeur à proximité lors du dégazage ET balisage de la zone à faire		peu probable	grave	acceptable

4.6.2.2 Données d'entrée

§ NF EN 378 : 2017	Données d'entrée	Centrale au CO_2
§5.1 (partie 1)	**Catégorie d'accès**	
	Catégorie d'accès **(tableau 4)**	c
	Application/toxicité **(tableau C.1)**	Autre
	Application/inflammabilité **(tableau C.1)**	Non inflammable
§5.2 (partie 1)	**Fluide frigorigène (Annexe E)**	
	Classe sécurité **(tableau E.1)**	A1
	Groupe PED **(tableau E.1)**	2
§5.3 (partie 1)	**Emplacement systèmes frigorifiques**	
	Classe d'emplacement	Classe II
	Volume en m^3	160
	Surface en m^2	40
§5.4 (partie 1)	**Classification systèmes**	
	Classification complément 1	Système direct
	Complément système	Néant
§6 (partie 1)	**Quantité de fluide**	
	Masse de fluide contenue (kg)	200
–	**Données complémentaires**	
	Zone de risque pour le bâtiment	Néant
	Zone dans le bâtiment (risques)	Néant

FIGURE 65 : Tableau des données d'entrée pour l'analyse des risques

Informations complémentaires pour le remplissage du tableau :

- Le Fluide frigorigène : se référer à l'**Annexe E** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 :
  - la Classe de sécurité : se référer au **tableau E.1** de l'Annexe E partie 1,
  - le groupe PED : se référer au **tableau E.1** de l'Annexe E partie 1.
- La catégorie d'accès : se référer au **tableau 4** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 § 5.1 :
  - l'Application/toxicité : se référer au **tableau C.1** de la partie 1 Annexe C,
  - l'Application/inflammabilité : se référer au **tableau C.2** de la partie 1 Annexe C.

4.6.2.3 Tableau d'analyse des risques

Phase de vie	Sous phase de vie (cf note 2)	Phénomène dangereux (cf note 1)	Situation dangereuse	Cause provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Classe de l'emplacement de la machine (de I à IV)	Risque	Cause provoquant le passage de la situation dangereuse au risque
PHASE DE VIE : Maintenance							
Intervention de maintenance préventive (vidange d'huile)	Retour bouteille avant point triple et isolation du départ liquide (manipulation prévisionnelle pour le remplacement de la cartouche déshydrateur)	Fluide frigorigène à très faible pression et température (mauvaise interprétation de l'état du fluide)	état du fluide au point triple bouchon du circuit à cet endroit	Méconnaissance de la valeur du point triple du CO2 (pression inférieure à 4,2 bars). Manipulation erronée de l'opérateur qui se base sur une procédure habituelle utilisée sur d'autres types de fluides frigorigènes (temps d'aspiration trop long)	II	Risque d'injection ou d'éjection de fluide sous pression gelure de la peau	Cause externe au système provoquant la hausse de la température du fluide frigorigène augmentation de la température ambiante, si temps trop long à l'ouverture du boîtier filtre
	Isolation du compresseur (vanne de service)	CO2 sous pression	Vannes HP ou BP des compresseurs non étanches	Absence de maintenance préventive sur les vannes ou maintenance conditionnelle sur les vannes défaillantes	II	risque mécanique (choc du flexible contre l'opérateur) du à la pression lors de l'ouverture du circuit (flexible, huile)	non-possibilité de lecture de la pression dans les compresseurs si l'intervenant n'a pas posé les manomètres sur le compresseur,
						Anoxie de l'intervenant (ou d'une autre personne non sensibilisée au risque)	Ventilation mécanique défectueuse (la norme EN 378 précise qu'une ventilation mécanique doit être existante)

FIGURE 66 : Tableau d'analyse des risques

Note 1 : l'**Annexe 1** de ce guide fournit une liste de phénomènes dangereux.

Note 2 : il peut être pertinent de décomposer une phase de vie en sous-phases de vie pour donner plus de finesse à l'analyse. Par exemple, en phase de vie maintenance, les sous-phases de vie peuvent être l'ensemble des opérations séquentielles réalisées par l'intervenant.

Fréquence du risque	Gravité du risque	Criticité du risque	Mesures diminuant la probabilité d'apparition du risque (mesure préventive)	Mesures diminuant la gravité du risque (mesure corrective)	Nouvelle fréquence	Nouvelle gravité	Nouvelle criticité
PHASE DE VIE : Maintenance							
assez probable	grave	Non acceptable	formation à la manipulation du CO2 connaissance de la valeur de pression du point triple injection de gaz chaud dans le déshy, durant l'opération du retour liquide à la bouteille S'assurer de l'état du fluide : état vapeur	Utilisation d'EPI (gants, lunettes de protection,...)	peu probable	peu grave	Acceptable
très probable	grave	Non acceptable	◗ connaissance de la technologie des vannes ◗ connaissance du circuit frigorifique et électrique de la centrale booster Co2 TRANSCRITIQUE sur lequel a lieu l'intervention MISE EN PLACE D'UN PROCEDURE, exemple : 1) pose des manomètres sur compresseur (vanne de service) pour s'assurer de la pression dans le carter et la chambre de refoulement du compresseur en laissant les vannes de service (refoulement HP) ouvertes, 2) forcer le fonctionnement d'un compresseur pour vidanger le fluide dans le carter de tous les compresseurs, arrêt à 0 bar	si la pression remonte : Vannes de compresseurs non étanches, 1) fermer la vanne du collecteur d'aspiration 2) ouvrir les vannes de service (HP et BP) des compresseurs 3) forcer le fonctionnement d'un compresseur pour vidanger le fluide dans le carter de tous les compresseurs, arrêt à 0 bar	peu probable	peu grave	Acceptable
Probable	très grave	Non acceptable	1°) Evacuer le CO2 à l'air libre 2°) Forcer la ventilation mécanique d'urgence	1°) Equiper l'opérateur d'un capteur de CO2 2°) Mesure de consignation de la SDM (cf § 5.1 EN 378)	peu probable	peu grave	Acceptable

4.6.3 Troisième exemple : une unité de climatisation avec fluide HFC R32

4.6.3.1 Description du système

La troisième analyse des risques porte sur une unité de climatisation à fluide R32. L'objectif de l'intervention est de réaliser une brasure dans une gaine technique non ventilée, de contrôler des pressions et de réaliser une brasure sur une tuyauterie reliée à un compresseur.

FIGURE 67 : Intervention sur une unité de climatisation DRV avec fluide R32

La société en charge de la maintenance se doit de réaliser une analyse des risques afin de finaliser sa prévision d'intervention à partir des éléments suivants :

- documentation technique du système frigorifique ;
- cahier de maintenance utilisé par l'exploitant et toute information ou prévision de l'exploitant pouvant avoir un impact lors de son intervention ;
- sa prévision initiale d'intervention sur le site (séquence des opérations à réaliser, actions à faire pour chaque opération…).

4.6.3.2 Données d'entrée

§ NF EN 378 : 2017	Données d'entrée	Système VRV avec fluide R32
§5.1 (partie 1)	**Catégorie d'accès**	
	Catégorie d'accès **(tableau 4)**	b
	Application/toxicité **(tableau C.1)**	Autre
	Application/inflammabilité **(tableau C.1)**	Confort
§5.2 (partie 1)	**Fluide frigorigène (Annexe E)**	
	Classe sécurité **(tableau E.1)**	A2L
	Groupe PED **(tableau E.1)**	1
§5.3 (partie 1)	**Emplacement systèmes frigorifiques**	
	Classe d'emplacement	Classe II (groupe dans local technique ou extérieur)
	Volume en m^3	Non applicable
	Surface en m^2	Non applicable
§5.4 (partie 1)	**Classification systèmes**	
	Classification complément 1	Système direct (PAC Air/Air)
	Complément système	–
§6 (partie 1)	**Quantité de fluide**	
	Masse de fluide contenue (kg)	7,5
–	**Données complémentaires**	
	Zone de risque pour le bâtiment	Néant
	Zone dans le bâtiment (risques)	Présence de flamme lors d'intervention dans une zone non ventilée (ventilation avant intervention et permis de feu)

FIGURE 68 : Tableau des données d'entrée pour l'analyse des risques

Informations complémentaires pour le remplissage du tableau :

- Le fluide frigorigène : se référer à l'**Annexe E** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 :
  - la Classe de sécurité : se référer au **tableau E.1** de l'Annexe E partie 1,
  - le groupe PED : se référer au **tableau E.1** de l'Annexe E partie 1.
- La catégorie d'accès : se référer au **tableau 4** de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1 § 5.1 :
  - l'Application/toxicité : se référer au **tableau C.1** de la partie 1 Annexe C,
  - l'Application/inflammabilité : se référer au **tableau C.2** de la partie 1 Annexe C.

4.6.3.3 Tableau d'analyse des risques

Phase de vie	Sous phase de vie (cf note 2)	Phénomène dangereux (cf note 1)	Situation dangereuse	Cause provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Classe de l'emplacement de la machine (de I à IV)	Risque	Cause provoquant le passage de la situation dangereuse au risque
PHASE DE VIE : Maintenance							
Visite de Maintenance (réparation fuite)	Brasure (fuite R32 dans gaine technique non ventilée)	Fluide R32 (fluide inflammable)	Génération dans la gaine de CO2 et de d'acide hydrofluorique (combinaison du fluide avec l'huile lors du brasage)	Gaine non ventilée	Non pertinent	Anoxie par inhalation d'acide hydrofluorique ou de CO2	Pas d'EPI (masque)
	Brasure (fuite R32 dans gaine technique non ventilée)	Fluide R32 (fluide inflammable)	Concentration de R32 trop importante dans la gaine	Gaine non ventilée	Non pertinent	Incendie	Pas de permis feu
Visite de Maintenance (contrôle des pressions)	Mise en place des manomètres	Fluide R32 sous pression (fluide inflammable)	Jet de fluide sous pression	Flexible ou joint défectueux	Non pertinent	Projection de fluide dans les yeux et sur les mains	Pas de port d'EPI, vétusté du matériel (flexible,...)
Visite de Maintenance (remplacement compresseur à souder)	Brasure compresseur	Fluide R32 sous pression (fluide inflammable)	Génération à l'extérieur du compresseur du CO2 et de d'acide hydrofluorique (combinaison du fluide avec l'huile lors du brasage)	Brasure dans un espace restreint	Non pertinent	Anoxie (acide hydrofluorique et CO2 en présence de flamme) ou incendie	Pas tirage au vide lors de l'opération pour éviter le contact de la flamme et du R32

FIGURE 69 : Tableau d'analyse des risques

Note 1 : l'**Annexe 1** de ce guide fournit une liste de phénomènes dangereux.

Note 2 : il peut être pertinent de décomposer une phase de vie en sous-phases de vie pour donner plus de finesse à l'analyse. Par exemple, en phase de vie maintenance, les sous-phases de vie peuvent être l'ensemble des opérations séquentielles réalisées par l'intervenant.

Fréquence du risque	Gravité du risque	Criticité du risque	Mesures diminuant la probabilité d'apparition du risque (mesure préventive)	Mesures diminuant la gravité du risque (mesure corrective)	Nouvelle fréquence	Nouvelle gravité	Nouvelle criticité
PHASE DE VIE : Maintenance							
Probable	Catastrophique	Inacceptable	Formations et Attestation d'Aptitude (opérateur) et Attestation de Capacité (Employeur) Ventilation de la colonne Rappel de l'importance de la sécurité par l'Employeur		Peu probable	Peu probable	Acceptable
Probable	Catastrophique	Inacceptable	Formations et Attestation d'Aptitude (opérateur) et Attestation de Capacité (Employeur) Ventilation de la colonne Rappel de l'importance de la sécurité par l'Employeur	Présence d'extincteur	Peu probable	Peu probable	Acceptable
Probable	Catastrophique	Inacceptable	Formations et Attestation d'Aptitude (opérateur) et Attestation de Capacité (Employeur) Vérification de l'état des matériels. Rappel des éléments de sécurité par l'Employeur	Port d'EPI	Peu probable	Peu probable	Acceptable
Probable	Catastrophique	Inacceptable	Formations et Attestation d'Aptitude (opérateur) et Attestation de Capacité (Employeur) Ventilation de la colonne Rappel de l'importance de la sécurité par l'Employeur		Peu probable	Peu probable	Acceptable

4.6.4 Principales mesures de réduction du risque apportées par la norme NF EN 378 : 2017

Risque couvert : phases de vie « maintenance » et « réparation »	Mesure de réduction du risque	Paragraphe de la norme NF EN 378 : 2017 où la mesure est citée	Remarques
Risques d'incendie ou d'explosion	Utilisation et placement adéquats du matériel électrique	§6.2.14 (partie 2)	
Tous types de risques relatifs à la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement	Formation du personnel	§4.1.2 (partie 4)	La norme NF EN 13313 définit les compétences du personnel pour les systèmes de réfrigération et de pompe à chaleur.
Risques liés aux fuites	Identification des vannes	§6.4.2.1 (partie 2)	L'identification des vannes facilite les interventions de l'opérateur de maintenance et évite des manipulations dangereuses.
	Réaliser une maintenance périodique	§5 (partie 4)	
Risques d'incendie et d'explosion	Utilisation adaptée des équipements électriques	§6.2.14 (partie 2)	Équipement électrique.
Risques liés à un dépassement d'un niveau de concentration qui entraîne des effets nuisibles pour les personnes, les biens et l'environnement (toxicité par inhalation du fluide frigorigène, inflammation ou explosion…).	Vérification par l'opérateur de maintenance que les préconisations des chapitres d'installation sont fonctionnelles	§9 (partie 3)	L'installateur du système frigorifique sur site est censé mettre en place une ventilation. Le § 9 rappelle que la détection du fluide frigorigène CO_2 (R744) se fait uniquement par un capteur approprié à ce fluide. Il convient que l'opérateur de maintenance vérifie que les préconisations des chapitres d'installation sont fonctionnelles.
	Vérification par l'opérateur de maintenance que le système de ventilation de ou dans la salle des machines est fonctionnel	§5.2 (partie 3)	L'installateur du système frigorifique sur site est censé mettre en place une ventilation dans la salle des machines.
	Suivi des lignes directrices pour les réparations des équipements utilisant des fluides inflammables	Annexe E (partie 4)	Le § E3 propose une procédure.
	L'opérateur de maintenance doit vérifier l'accessibilité et la fonctionnalité des équipements de protection individuelle s'ils sont prévus (appareils respiratoires…)	Annexe A (partie 3)	L'Annexe A (partie 3) traite de l'accessibilité et de l'utilisation des équipements de protection individuelle.

FIGURE 70 : Tableau des mesures de réduction des risques prescrites par la norme NF EN 378 : 2017

4.7 Phase de vie « mise au rebut »

Cette phase de vie correspond à la situation où le système frigorifique est démantelé complètement. On se reportera au § 6 de la partie 4 de la norme NF EN 378 : 2017 (et ses annexes).

Les opérations de mise au rebut relèvent pour l'essentiel des mêmes exigences portant sur les opérations de maintenance courante. Les risques liés au transport des déchets de fluide relèvent de la réglementation du transport des matières dangereuses et du Code de l'environnement.

L'analyse des risques concernera principalement les risques liés à une vidange incomplète du système frigorifique.

Exemple : il peut exister un risque vital pour un opérateur procédant à une opération de démantèlement d'un équipement contenant un fluide inflammable (huile ou fluide frigorigène) et dont la vidange a été auparavant effectuée de manière incomplète. Lors du démontage, cet opérateur peut être amené à utiliser des outils susceptibles de provoquer des étincelles (découpe d'une tuyauterie à l'aide d'une disqueuse) et donc une inflammation.

Les mesures de risques décrites par la norme apparaissent dans le **§ 4.1.2 (partie 4)** et portent sur la formation du personnel. Ces mesures ont des effets sur tous les types de risques.

5 Conclusion

Ce guide est centré sur la norme NF EN 378 : 2017. Toutefois, la prise en compte des réglementations pertinentes est également indispensable à la conformité du système aux règles nationales et éventuellement locales.

L'analyse des risques concernant les systèmes frigorifiques est un point fondamental de la norme NF EN 378 : 2017 et ne peut s'envisager que si l'ensemble des phases de vie par lesquelles le système passe est pris en compte.

Pour bien comprendre l'importance de cette notion de cycle de vie, le lecteur doit avoir à l'esprit qu'il y a deux dimensions :

- Tout d'abord, chaque phase de vie possède des risques et des intervenants différents : chaque intervenant doit donc réaliser sa propre analyse des risques.
- De plus, un intervenant donné doit avoir une vision exhaustive des risques que son activité génère et que celle-ci a potentiellement des conséquences sur plusieurs phases de vie : son analyse des risques doit donc prendre en compte toutes ces phases.

Enfin, la maîtrise des risques est un processus continu, donc exigeant, qui nécessite une formation continue des intervenants et une mise à jour régulière des analyses des risques afin de prendre en compte le retour d'expérience obtenu sur le système frigorifique : augmentation ou diminution de l'occurrence d'un risque à partir des données du terrain, intégration d'un nouveau risque non connu au moment où l'analyse des risques initiale a été réalisée…

De nombreuses normes ou réglementations ont été mises en place afin de tendre non pas vers le risque zéro (cela est impossible !) mais vers des risques maîtrisés. Leur bonne application ne garantit pas toujours que cet objectif ait été atteint. C'est la raison pour laquelle nombreuses sont ces normes et réglementations qui exigent en complément des autres exigences de réaliser une analyse des risques. Les auteurs de ce guide espèrent avoir modestement contribué à aider les entreprises à les mettre en œuvre et, au-delà, à améliorer leur compréhension de la norme NF EN 378 : 2017.

Annexe 1

Tableau des phénomènes dangereux et des situations dangereuses

CE TABLEAU EST ISSU DES ANNEXES D PARTIE 2, ANNEXE G PARTIE 1 DE LA NORME NF EN 378 : 2017.

Phénomène dangereux	Causes provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Effets intermédiaires amenant à la situation dangereuse	Situation dangereuse	Risque
Phénomènes dangereux/situations dangereuses thermiques				
Fluide frigorigène	Fragilisation du matériau sous basse température dans des conditions normales de fonctionnement		Fuite du fluide frigorigène (par rupture d'un composant)	Incendie, explosion, personne intoxiquée, effet caustique sur personne, gelure de la peau, asphyxie, panique, problème environnemental (effet de serre ou dégradation de la couche d'ozone...)
	Cause externe et/ou interne au système provoquant la baisse excessive de la température du fluide frigorigène	Fragilisation du matériau sous basse température		
		Température de surface très faible	Refroidissement excessif d'une zone pouvant être touchée	Blessure d'une personne suite à un contact avec la surface froide
		Congélation de liquide caloporteur en espace clos générant l'expansion d'un volume (tuyauteries, collecteur, etc.) en contact avec le fluide frigorigène : contamination de liquide de refroidissement (condenseur) ou caloporteur (évaporateur) et donc contamination possible du fluide caloporteur	Fuite du liquide de refroidissement et d'une partie du fluide frigorigène dans des espaces desservis	Incendie, explosion, personne intoxiquée, effet caustique sur personne, gelure de la peau, asphyxie, panique, problème environnemental (effet de serre ou dégradation de la couche d'ozone...)
	Cause externe et/ou interne au système provoquant un gradient de température	Naissance de contraintes thermiques dans le matériau d'un composant	Fuite du fluide frigorigène (par rupture d'un composant)	Incendie, explosion, personne intoxiquée, effet caustique sur personne, gelure de la peau, asphyxie, panique, problème environnemental (effet de serre ou dégradation de la couche d'ozone...)
		Variations du volume dues aux variations de température		

☞

Phénomène dangereux	Causes provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Effets intermédiaires amenant à la situation dangereuse	Situation dangereuse	Risque
Fluide frigorigène	Cause externe et/ou interne au système provoquant la hausse excessive de la température du fluide frigorigène		Réchauffement excessif d'une zone pouvant être touchée	Blessure d'une personne suite à un contact avec la surface chaude
Énergie thermique (température haute ou basse)	Par conception, il existe des surfaces exposées trop chaudes ou trop froides pouvant être touchées		Objets ou matériaux à des températures extrêmes (hautes ou basses) exposés	Brûlures, engelures et autres lésions d'un opérateur de maintenance
	Présence d'une flamme (exemple : utilisation d'un chalumeau en maintenance...)			
Phénomènes dangereux/situations dangereuses divers				
Fluide frigorigène (phase liquide)	Erreur de manipulation de l'opérateur (installateur, mainteneur)	Charge excessive de fluide frigorigène liquide	Destruction d'une partie de l'équipement (exemple : compresseur...) et/ou fuite du fluide frigorigène	Incendie, explosion, personne intoxiquée, effet caustique sur personne, gelure de la peau, asphyxie, panique, problème environnemental (effet de serre ou dégradation de la couche d'ozone...)
	Défaillance d'un composant (exemples : soupape, détenteur, automatisme...)	Équipement noyé par le fluide frigorigène (exemple : présence de fluide dans le compresseur)		
	Siphonnage ou condensation dans le compresseur			
	Variation brusque de pression (exemple : distance trop importante entre une électrovanne et le détendeur) ou pulsations de pression dans le système (exemple : détendeur électrique)	Coup de bélier dans les tuyauteries	Destruction de la tuyauterie et fuite du fluide frigorigène	
	Émulsification de l'huile	Manque de lubrification	Système frigorifique défaillant et/ou surchauffe d'une zone pouvant être touchée	Blessure d'une personne suite à un contact avec la surface chaude

☞

Phénomène dangereux	Causes provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Effets intermédiaires amenant à la situation dangereuse	Situation dangereuse	Risque
Phénomènes dangereux/situations dangereuses mécaniques (pression et énergie cinétique)				
Fluide frigorigène à pression non extrême (pas de surpression ou de dépression)	Refroidissement inadéquat du condenseur	Augmentation de la pression de condensation	Fuite du fluide frigorigène (liée à une surpression du fluide frigorigène)	Incendie, explosion, personne intoxiquée, effet caustique sur personne, gelure de la peau, asphyxie, panique, problème environnemental (effet de serre ou dégradation de la couche d'ozone...)
	Pression partielle de gaz non condensable			
	Accumulation d'huile dans le condenseur			
	Accumulation de fluide frigorigène en phase liquide dans le condenseur			
	Échauffement externe excessif (refroidisseur de liquide ou lors du dégivrage d'un refroidisseur d'air)	Augmentation de la pression de vapeur saturée		
	Température ambiante (système à l'arrêt)			
	Élévation de température externe			
	Feu			
Partie tournante dans la machine	Cf. directive Machines et réglementations nationales et/ou locales		Personne exposée à une partie tournante dans la machine, bruit excessif, vibrations excessives...	Blessures d'une personne, détérioration de l'acuité auditive, dommages dus aux vibrations excessives, coupure, sectionnement d'une personne, injection ou éjection de liquide sous haute pression...
Pièce mécanique en mouvement				

☞

Phénomène dangereux	Causes provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Effets intermédiaires amenant à la situation dangereuse	Situation dangereuse	Risque
Fluide frigorigène en dépression	Défaillance d'un système de sécurité (exemple : pressostat...) ou de contrôle commande (exemple : contacteur soudé...)		Aspiration d'air dans le circuit frigorifique	Incendie ou explosion
	Résistance mécanique insuffisante d'un ensemble ou composant (exemple : écrasement d'un tube d'échangeur, joint d'étanchéité...)			
Phénomènes dangereux/situations dangereuses électriques				
Énergie électrique	Conception système frigorifique non conforme à la directive Basse tension		Partie active exposée	Contact des personnes avec des parties actives (contact direct)
	Intervention humaine en maintenance (non-respect des exigences de sécurité : habilitation électrique nécessaire...) ou défaillance d'un composant		Partie devenue active et exposée	Contact des personnes avec des parties qui sont devenues actives à la suite d'une défaillance (contact indirect)
	Court-circuit, surcharge, liés à une source électrique		Rayonnement thermique	Blessures (brûlures, aveuglement...), incendie, explosion
			Projection de particules en fusion	
			Effets chimiques (exemple : dégagement de fumée toxique...)	Blessures d'une personne (exemple : intoxication...)
			Électrostatisme d'un composant	Incendie, explosion

☞

Phénomène dangereux	Causes provoquant l'apparition de la situation dangereuse	Effets intermédiaires amenant à la situation dangereuse	Situation dangereuse	Risque
Phénomènes dangereux/situations dangereuses chimiques				
Fluide inflammable	Toute cause de fuite		Fuite de fluide inflammable avec présence d'une source d'inflammation (principales sources d'inflammation citées dans la norme NF EN 378 : 2017 partie 2 Annexe K : surfaces chaudes, flammes et gaz chauds, étincelles d'origine mécanique, matériel électrique, électricité statique)	Inflammation ou explosion

FIGURE 71 : Tableau des différents types de phénomènes dangereux et des différents scénarios amenant à l'dommage

Annexe 2

Causes possibles de fuite

Le tableau ci-dessous liste des causes possibles de fuite. Il est issu de travaux précédents réalisés par le Cetim en 2006 : ils avaient abouti à la rédaction d'un Guide méthodologique de sûreté de fonctionnement des installations frigorifiques et à un outil informatique. Cet outil s'appuie sur la méthode AMDEC (Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité).

Ces causes peuvent se produire dans les différentes phases de vie du système frigorifique et peuvent aussi bien être la première ou la deuxième cause du scénario amenant au dommage **(voir la Figure 18)**.

Exemples : en phase de vie conception, un sous-dimensionnement à la fatigue d'un composant peut être à l'origine d'une rupture et donc d'une fuite. En phase de vie construction, l'absence d'un joint peut résulter d'un oubli de l'opérateur sur une ligne de fabrication. En phase de vie exploitation ou maintenance, un mauvais serrage d'une bride après démontage peut être à l'origine d'une fuite.

Le lecteur pourra trouver des informations complémentaires sur le site du CEMAFROID : http://www.cemafroid.fr/doc_telechargement/rapport-afce-confinement-fluides-frigorigenes-2015.pdf

Cause de fuite	
Absence de joint	Gel
Choc	Mauvais serrage de bride
Choc hydraulique	Mauvais tarage
Corrosion	Non utilisation prolongée
Coup de bélier	Perçage
Défaut de conception	Problème mécanique
Défaut de maintenance	Qualité de soudure
Défaut de montage	Rupture
Défaut de réglage	Support défectueux
Déréglage	Surpression
Desserage	Usure
Détérioration	Usure de joint, de garniture
Encrassement, obturation	Usure de siège
Erreur humaine	Vibrations
Fatigue	Vieillissement de flexible
Fissuration	Vieillissement de joint
Fixation défectueuse	

Remarque : les joints sont évidemment souvent impliqués dans les fuites. Donc, il faut être précis sur les causes racines des défaillances :

- absence de joint (au moment du montage en phase de production) ;
- joint non adapté (caractéristiques du joint non adaptées pour l'application ;
- vieillissement excessif d'un joint (conditions de fonctionnement trop sévères en phase de fonctionnement) ;
- etc.

Annexe 3

Documents complémentaires

- Norme EN ISO 12100 : 2010 : « Principes généraux de conception »
- Norme EN 1127-1 : « Atmosphères explosives. Prévention de l'explosion et protection contre l'explosion »
  - La partie 1 fournit différents types de sources d'inflammation.
- Norme ISO 817 : « Fluides frigorigènes – Désignation et classification de sécurité ».
- Norme ISO 5149 : « Systèmes frigorifiques et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d'environnement ».
- Normes IEC 60079 : principales normes ATEX
  - La partie 10 décrit la méthodologie permettant le classement des zones ATEX.
- Norme EN ISO 14040 : « Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principes et cadre ».

Les chapitres 2 de chacune des parties de la norme listent des documents de référence complémentaires.

Annexe 4

Fréquence, gravité et criticité d'un risque, méthode AMDEC

La détermination de la gravité et de l'occurrence d'un risque posent parfois des difficultés. C'est plus souvent le cas pour l'occurrence qui est parfois très difficile (voire impossible) à estimer. Dans ce cas, la pratique consiste à prendre la probabilité d'apparition la plus sévère afin de rester conservatif vis-à-vis du niveau de risque.

C'est le cas par exemple d'un logiciel qui est sujet à des défaillances dites « systématiques »[1]. Les risques sont alors hiérarchisés par leur niveau de gravité uniquement et la probabilité d'apparition de la défaillance logicielle est prise égale à 1. En effet, il n'existe pas de consensus scientifique permettant d'estimer cette probabilité. Toutefois, dans de très rares cas, il est parfois possible d'éliminer le risque de « bug » ; notamment lorsque toutes les combinaisons de fonctionnement du logiciel ont pu être testées.

CALCUL DE LA PROBABILITÉ D'APPARITION D'UN DOMMAGE

La définition d'un niveau d'occurrence n'est pas forcément subjective. Elle peut aussi se baser sur le calcul objectif d'une probabilité d'apparition du dommage. Suivant les hypothèses retenues, il existe différentes méthodes pour y parvenir dont l'arbre de défaillance. Le dommage est alors l'évènement sommet de l'arbre de défaillance.

Enfin, l'occurrence renseigne sur la probabilité que le dommage se produise sur l'ensemble de la durée de vie prévue du système.

ESTIMATION DE LA GRAVITÉ D'UN DOMMAGE

Les premiers niveaux peuvent être réservés pour des conséquences où aucun décès n'est à déplorer. Les niveaux supérieurs peuvent être réservés pour des conséquences pour lesquelles au moins un décès est constaté.

Suivant les circonstances, il peut arriver qu'il y ait plusieurs effets possibles. Dans ce cas, le principe généralement adopté consiste à prendre l'effet plausible le plus grave de manière à majorer l'indice de gravité et donc le niveau de risque.

ÉVALUATION D'UN NIVEAU DE RISQUE ET DE SON NIVEAU MAXIMAL ACCEPTABLE

L'évaluation d'un niveau de risque peut se faire de différentes façons. Une possibilité consiste à utiliser une matrice des risques comme celle utilisée dans les exemples du fil rouge et qui définit une zone dans laquelle le niveau de risque est acceptable et une zone dans laquelle il est inacceptable.

Une autre possibilité consiste à calculer une criticité qui est le produit d'un indice de fréquence (de 1 à 5 par exemple) par un indice de gravité (de 1 à 5 par exemple). Si la criticité du risque est supérieure à une valeur limite (appelée criticité limite) alors le risque est jugé inacceptable.

Parfois, il est aussi possible de définir trois zones :

- une zone dans laquelle le risque est acceptable (voir en vert ci-dessous) ;
- une zone dans laquelle le risque est inacceptable (voir en rouge ci-dessous) ;
- et une zone intermédiaire (voir en orange ci-dessous) appelée zone ALARP (As Low As Reasonably Possible) dans laquelle le niveau de risque est toléré à la condition qu'une action de maîtrise du risque ait été prise (même si cette action ne permet pas de ramener le niveau de risque dans la zone d'acceptabilité).

1. Une défaillance est dite « systématique » si elle est reliée de manière déterministe à une cause donnée.

F/G	1	2	3	4
1				
2				
3				
4				

FIGURE 72 : Matrice de criticité avec zone ALARP en orange

Dans l'outil AMDEC (Analyse des modes de défaillance de leur effet et de leur criticité), qui est beaucoup utilisé dans l'industrie pour analyser les défaillances de systèmes lors de leur conception et de leur fabrication, la fréquence est décomposée en deux indices :

- Un indice « d'occurrence » qui renseigne sur la fiabilité prévisionnelle du système (AMDEC dite produit) ou du processus de fabrication (AMDEC dite processus).
- Un indice de « détection » qui renseigne sur la capacité de l'entreprise à détecter à temps d'éventuels défauts dans la conception ou la fabrication. Cet indice dépend alors des validations mises en place par l'entreprise en conception (calculs, simulations, dimensionnement suivant une norme…) et en fabrication (contrôles réalisés après chaque opération ou à la fin du cycle de fabrication).

La criticité d'une défaillance est alors le produit de trois indices : un indice d'occurrence, un indice de détection et un indice de gravité.

Exemple 1 : la fréquence de défaillance d'un assemblage vissé est estimée à 2 sur une échelle allant de 1 à 5. Cela signifie que sa fiabilité estimée est bonne. L'indice de détection associé est estimé à 1 sur une échelle de 1 à 5. Cela signifie que les mesures de vérification de la fiabilité de l'assemblage vissé déjà mises en place sont très efficaces (test d'endurance sur plusieurs prototypes, calculs analytiques réalisés sur un outil de calcul…). Les conséquences de la défaillance de l'assemblage sont importantes, c'est-à-dire à 4 sur une échelle de 1 à 5. La criticité calculée est donc de 2 x 1 x 4 = 8. La criticité limite est supposée égale à 10. Le risque est donc accepté en l'état et il n'est pas nécessaire de prendre des mesures de réduction du risque.

Fréquence du risque		Gravité du risque	Niveau de risque
Indice d'occurrence	Indice de détection	Indice de gravité	Criticité
Fiabilité prévisionnelle	Mesures de validation de la conception	Gravité des conséquences	
O	D	G	C = O x D x G
2	1	4	8

FIGURE 73 : Exemple de calcul d'une criticité dans l'outil AMDEC

Exemple 2 : la norme NF EN 378 : 2017 préconise de réaliser certains essais sur le système avant de quitter l'usine (s'il est assemblé en usine). Un de ces essais consiste à vérifier l'étanchéité du système **(voir tableau du § 4.3.4 : première ligne, colonne « Remarques »)**. Ce type d'essai est de nature à baisser l'indice de détection dans une AMDEC processus.

Annexe 5

Zones ATEX et norme IEC 60079

La norme IEC 60079 partie 10 « Classement des emplacements dangereux » définit une méthodologie permettant d'identifier et de classer des emplacements considérés comme dangereux car susceptibles d'être des ATmosphères EXplosives (ATEX)[2]. L'objectif est ainsi d'aider au choix de l'emplacement de matériel électrique. Une zone ATEX est ainsi caractérisée par deux paramètres :

- son niveau de « dangerosité » (le type de la zone) ;
- sa délimitation tridimensionnelle.

L'ANALYSE DES RISQUES ET LES ZONES ATEX

La norme IEC 60079 partie 10 définit quatre types de zones suivant :

- la fréquence (probabilité d'avoir l'évènement) ;
- la durée de présence d'une atmosphère explosive : de la zone qui ne présente aucun risque à une zone 0 où l'atmosphère explosive est présente en permanence[3].

Probabilité d'un ATEX	Haute	Moyenne et faible	Très faible	Improbable
Définitions	Emplacement où une atmosphère explosive est présente en permanence ou pendant de longues périodes	Emplacement où une atmosphère explosive est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal	Emplacement où une atmosphère explosive n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou, si elle se présente néamoins, n'est que courte durée (fonctionnement anormal prévisible)	Emplacement non dangereux
Gaz et vapeurs	ZONE 0	ZONE 1	ZONE 2	Hors ZONES
Poussières	ZONE 20	ZONE 21	ZONE 22	Hors ZONES

FIGURE 74 : Classification des différentes zones ATEX

La combinaison de ces deux paramètres est donc un facteur de premier ordre (mais ce n'est pas le seul) pour définir l'indice d'occurrence du risque d'explosion dans l'analyse des risques.

En effet, pour qu'il y ait explosion, les deux conditions suivantes doivent être remplies :

- Condition 1 : présence d'une atmosphère explosive ; ce qui est possible si :
  - il y a mélange d'un comburant (l'oxygène de l'air) avec un combustible (un fluide frigorigène ayant des propriétés d'inflammabilité…),
  - et si la concentration du combustible dans le mélange se situe dans une plage qui se caractérise par une limite basse (appelée Limite Inférieure d'Explosivité) et par une limite haute (appelée Limite Supérieure d'Explosivité).

2. Définition fournie par la norme : « Mélange avec l'air, dans les conditions atmosphériques, de substances inflammables sous forme de gaz, vapeur, brouillard ou poussière dans lequel, après inflammation, la combustion s'étend à tout le mélange non brûlé ».
3. Citation de la norme : « *Présente en permanence, ou pendant de longues périodes ou encore fréquemment.* »

- Condition 2 : apport d'une énergie « suffisante » dans l'atmosphère explosive ; ce qui peut être :
  - une source d'énergie localisée (une étincelle d'origine électrique ou mécanique, une flamme…) et qui dépasse un niveau minimum appelé Énergie Minimale d'Inflammation,
  - ou une source de chaleur dans l'atmosphère explosive (ou à proximité) qui permet d'élever le mélange explosif à une température supérieure à la température d'auto inflammation du mélange.

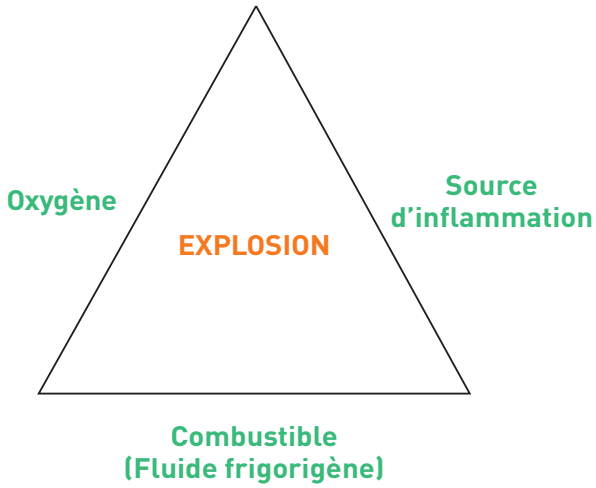


FIGURE 75 : « Triangle » de l'explosion

Le type de zone prend donc en compte tous les facteurs qui interviennent dans la première condition (par exemple : le débit de fuite du gaz frigorigène, le volume dans lequel il s'échappe, la ventilation du volume concerné par la fuite…) mais ne prend pas en compte les facteurs qui interviennent dans la deuxième condition.

Sauf rares exceptions, les zones dangereuses potentiellement générées par le système frigorifique sont de type 2.

Par conséquent, pour compléter l'analyse des risques et définir plus précisément l'occurrence du risque « explosion dans la zone », il faudra également évaluer la probabilité d'avoir un apport d'énergie dans cette zone. La norme IEC 60079 partie 10 donne des indications permettant de définir les limites de cette zone en fonction de différents paramètres : le taux de dégagement du gaz, sa densité relative par rapport à l'air qui dépend elle-même de la température, sa valeur de Limite Inférieure d'Inflammabilité, l'intensité de la ventilation…

L'IMPORTANCE DE LA VENTILATION[4]

La norme IEC 60079 partie 10 insiste sur l'importance de la ventilation qui peut à elle seule faire passer d'une zone à une autre, et ce dans les deux sens (suivant les caractéristiques de la ventilation). Ainsi, le type de zone dépend principalement de deux paramètres : le degré de dégagement[5] et les caractéristiques de la ventilation.

4. Définition donnée par la norme IEC 60079 partie 10 : « *Mouvement de l'air et remplacement de cet air par de l'air frais sous l'action du vent et de gradients de température ou de moyens artificiels (par exemple ventilateurs ou extracteurs).* »
5. Combinaison de la fréquence du dégagement (probabilité qu'il soit présent ou pas) et de sa durée (très courte ou sur de longues périodes). La norme IEC 60079 partie 10 définit trois niveaux de degrés de dégagement.

La norme IEC 60079 partie 10 définit les différents types de ventilation (naturelle ou pas) et deux caractéristiques à prendre en compte pour juger de son efficacité :

- Son intensité (de faible à fort) qui conditionne un taux de renouvellement en air frais du volume considéré.
- Sa disponibilité qui conditionne le pourcentage de temps où cette ventilation est active (et qui dépend elle-même d'autres facteurs : la fiabilité de cette ventilation, la possibilité ou pas d'avoir recours à une ventilation de secours, les conditions déclenchant la mise en marche de la ventilation si elle n'est pas permanente…).

LES MESURES DE RÉDUCTION DU RISQUE

La directive européenne ATEX exige que les mesures de réduction du risque portent sur deux volets :

- mesures dites « techniques » ;
- mesures dites « organisationnelles ».

Concernant les mesures techniques :

- 1 Éviter, si possible, la formation d'une zone ATEX.
- 2 S'il n'est pas possible d'éviter la formation d'une zone, il faut éviter l'apparition d'une inflammation dans la zone.
- 3 Si une inflammation se produit tout de même, alors il faut arrêter immédiatement et/ou limiter la zone affectée par l'explosion (présence de flammes et/ou de surpressions) afin de réduire le nombre de personnes susceptibles d'être en contact avec cette zone.

Par rapport à la convention adoptée dans ce guide, les mesures 1 et 2 diminuent la fréquence du risque et les mesures du point 3 diminuent la gravité du risque.

Concernant les mesures organisationnelles : elles portent sur diverses mesures dont la formation des intervenants (maintenance…) et la mise en place de consignes de sécurité.

Les mesures organisationnelles diminuent la fréquence et/ou la gravité du risque.

Annexe 6

Documents d'un Dossier des Ouvrages Exécutés

Dans un délai d'un mois suivant la date de notification de la décision de réception des travaux, le titulaire du permis de construire doit remettre les éléments du Dossier des ouvrages exécutés (DOE) et les documents nécessaires à l'établissement du Dossier d'intervention ultérieure sur l'ouvrage (DIUO) au maître d'œuvre.

Exemple de documents à fournir pour la réception d'un système frigorifique à la fin de la phase « installation » d'un ouvrage :

- Contenu des DOE de la responsabilité de la maîtrise d'ouvrage :
  - le Dossier de suivi de l'opération (DSO),
  - les diagnostics et sondages préliminaires à une opération d'infrastructure (à intégrer ultérieurement dans le DCO/6),
  - les essais de fonctionnement de l'ouvrage (à intégrer ultérieurement dans le DFO/2).
- Contenu des DOE de la responsabilité de l'exécutant des travaux :
  - Dossier de construction de l'ouvrage (DCO) :
    - DCO/1 : Plans conformes à l'exécution :
      - plan du gros œuvre et du génie civil
      - plans des réseaux intérieurs
    - plan d'atlas :
      - plans de bâtiments
      - ouvrages de génie civil
    - plans de récolements et de topographie,
    - nomenclature des équipements,
    - dossier de sécurité incendie,
    - diagnostics, sondages et études diverses.
  - Dossier de fonctionnement de l'ouvrage (DFO) :
    - DFO/1 : notes de calcul,
    - DFO/2 : essais de fonctionnement,
    - DFO/3 : notices de fonctionnement,
    - DFO/4 : carnet sanitaire des réseaux et installations d'eau potable,
    - DFO/5 : synthèse d'étude thermique.
  - Dossier de maintenance de l'ouvrage (DMO) ;
  - Plan de formation ;
  - Dossier de Garanties de l'Ouvrage.

Annexe 7

Glossaire/lexique

Les définitions ci-dessous sont issues de la norme NF EN 378 : 2017 partie 1. D'autres sont issues ou inspirées de la norme NF EN ISO 12100 : 2010.

Analyse des risques : processus qui identifie puis estime le niveau de chacun des risques.

AMDEC : Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité.

Criticité : indicateur d'un niveau de risque.

Composant : élément fonctionnel individuel d'un système frigorifique.

Cycle de vie : ensemble des phases de la vie d'un système ; de sa phase de conception jusqu'à sa fin de vie.

Enceinte ventilée : enceinte contenant le système frigorifique qui ne permet pas la circulation de l'air depuis l'enceinte vers l'espace environnant et qui est munie d'un système de ventilation assurant un débit d'air de l'enceinte à l'air libre à travers un conduit.

Gravité : mesure de l'importance d'un dommage.

Niveau de risque : mesure d'un risque.

Occurrence : mesure de la probabilité d'apparition d'un dommage.

Plan de réduction des risques : ensemble des actions visant à réduire les risques.

Phénomène dangereux : source potentielle de situation dangereuse.

PRP : Pouvoir de réchauffement planétaire. L'abréviation anglaise GWP (Global Warming Potential) est plus souvent utilisée.

Risque : combinaison de la probabilité d'un dommage et de la gravité de ce dommage.

Risque résiduel : risque subsistant après l'application de mesures de réduction du risque.

Salle des machines : local ou espace clos avec ventilation mécanique, isolé des zones accessibles et non accessibles au public, destiné à contenir les composants du système frigorifique.

Situation dangereuse : situation dans laquelle des personnes, des biens, ou l'environnement sont exposés à un ou plusieurs phénomènes dangereux.

Système frigorifique : ensemble des parties interconnectées contenant du fluide frigorigène constituant un circuit fermé dans lequel le fluide frigorigène circule afin d'extraire ou de fournir de la chaleur (c'est-à-dire refroidir ou réchauffer).

Norme NF EN 378 : 2017 pour les Systèmes frigorifiques et Pompes à chaleur

Suite aux différents accords de Montréal, Kyoto, et plus récemment de la COP21 à Paris et des accords de Kigali, la rédaction d'un règlement F-Gas a été opéré, visant au remplacement des fluides HFC à fort effet de serre. Le marché est ainsi entré dans une période transitoire, marqué par la recherche de solutions alternatives pour toutes sortes d'applications. Dans le même temps, pour tenir compte des dernières évolutions, la norme NF EN 378 : 2017, relative à la sécurité et à l'environnement des installations frigorifiques et des pompes à chaleur, a été récemment révisée. La bonne connaissance de cette norme et des réglementations inhérentes est indispensable pour garantir la sécurité et la durée de vie des systèmes frigorifiques et pompes à chaleur. Ce guide a pour vocation de fournir à la profession un outil de référence pour l'application de la norme NF EN 378 : 2017. Parsemé d'exemples d'applications et d'analyses de risques, il propose en annexes un passage en revue des différents phénomènes et situations dangereuses, des causes possibles de fuite, ou encore l'études des risques avec la méthode Amdec. Supervisé et rédigé par un groupe d'experts du Cetim et un groupe d'experts de différentes entreprises, avec la collaboration du syndicat des industries thermiques, aérauliques et frigorifiques (UNICLIMA), de l'Alliance froid climatisation environnement (AFCE) et de l'Association française du froid (AFF), ce guide se présente comme état des lieux des normes et des réglementations en cours, permettant de tendre, sinon vers le risque zéro, au moins vers des risques maîtrisés.

cetim.fr
Centre technique des industries mécaniques
52, avenue Félix-Louat ▪ C.S. 80067
60304 Senlis Cedex
Tél. : 03 44 67 36 82

N° CETIM : 9Q313
ISSN : 1767-2546
ISBN : 978-2-36894-118-8

2017