



# UTILISATION SECURISEE DES FLUIDES ALTERNATIFS AUX HCFC EN FROID ET CLIMATISATION

Tour d'horizon à  
l'attention des pays  
en développement

PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT



Copyright © Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2016

A condition d'en mentionner la source, la présente publication peut être reproduite intégralement ou en partie sous quelque forme que ce soit à des fins pédagogiques ou non lucratives sans autorisation spéciale du détenteur du copyright. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement souhaiterait recevoir un exemplaire de toute publication produite à partir des informations contenues dans le présent document.

L'usage de la présente publication pour la vente ou toute autre initiative commerciale quelle qu'elle soit est interdite sans l'autorisation préalable écrite du Programme des Nations Unies pour l'environnement.

#### Avertissement

Les termes utilisés et la présentation du matériel contenu dans la présente publication ne sont en aucune façon l'expression d'une opinion quelconque par le Programme des Nations Unies pour l'environnement à propos de la situation légale d'un pays, d'un territoire, d'une ville ou de son administration ou de la délimitation de ses frontières ou de ses limites. De plus, les opinions exprimées ne représentent pas nécessairement la décision ou la politique officielle du Programme des Nations Unies pour l'environnement, de même que la mention de marques ou de méthodes commerciales ne constitue une recommandation.

Le  
PNUE encourage  
les Le PNUE encourage  
les pratiques respectueuses de  
l'environnement au niveau mondial  
et dans ses propres activités. Cette  
publication est imprimée sur du papier 100  
% recyclé, en utilisant des encres d'origine  
végétale et d'autres pratiques respectueuses  
de l'environnement. Notre politique de  
distribution a pour objectif de réduire  
l'empreinte carbone du PNUE.

# 1 | Remerciements

Ce document a été produit par le PNUE, Division de la technologie de l'industrie et de l'économie (PNUE DTIE) ActionOzone dans le cadre du programme de travail pour le Fonds multilatéral pour l'application du protocole de Montréal.

Ce projet a été supervisé par :  
Dr. Shamila Nair-Bedouelle, Directrice, PNUE ActionOzone

Ce projet a été conduit par :  
Dr. Ezra Clark, Chargé de programme, PNUE ActionOzone

Recherche et rédaction par : Daniel Colbourne, Re-phridge Ltd, UK

Le PNUE ActionOzone remercie les personnes suivantes pour leur relecture et leurs commentaires sur le texte durant la phase d'écriture :

M. Asbjorn Vonsild, Danfoss  
M. Nemanja Džinić, Consultant, Serbie  
M. Pedro de Oliveira Serio, Heatcraft, Brésil

M. Atul Bagai, Coordinateur régional senior, Asie du sud, PNUE ActionOzone  
M. Halvart Koppen, Coordinateur régional, Europe et Asie centrale, PNUE ActionOzon

M. Shaofeng Hu, Coordinateur régional, Asie du sud-est, PNUE ActionOzone

Traduction : M. Jean Paul Martial  
Révision de la traduction : Mme Anne-Maria Fenner

Mise en page par : Nathalie Lorient, UNOG Printing Section

Images de couverture : © Shutterstock  
Photos : © Shutterstock sauf mention du contraire

L'utilisation dans cet ouvrage, aux fins d'illustration, d'images d'équipements et d'outils ne constitue pas de la part de l'UNEP une recommandation pour les produits ou les sociétés qui les produisent.

# Résumé analytique

Avec l'élimination des hydrochlorofluorocarbures (HCFC) qui se poursuit sous l'égide du protocole de Montréal sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone, on s'attend à une adoption massive dans le monde, et en particulier dans les pays en développement, des fluides réfrigérants de substitution, comme les hydrocarbures, l'ammoniac, le dioxyde de carbone, les hydrofluorocarbures (HFC) insaturés (HFO) et des mélanges d'HFO. Beaucoup de ces frigorigènes de remplacement ont des propriétés caractéristiques en termes de toxicité, d'inflammabilité et de pression d'utilisation élevée, qui diffèrent de celles des réfrigérants utilisés précédemment comme les chlorofluorocarbures (CFC), et les hydrochlorofluorocarbures (HCFC). Lorsque des équipements de réfrigération ou de climatisation sont installés, entretenus, réparés ou démontés, les questions de sécurité doivent être correctement évaluées et prises en compte, en particulier lorsque des techniciens ont à faire à des fluides frigorigènes dont les caractéristiques ne leur sont pas familières. Il est donc important que le secteur de la réfrigération et de la climatisation s'adapte, tant du point de vue technique que sur le plan de la sécurité, à l'utilisation de ces nouveaux réfrigérants.

Cette publication apporte une vue d'ensemble des alternatives aux HCFC, décrit leurs caractéristiques générales et

présente les situations dans lesquelles il peut paraître bon de les utiliser sous l'angle des questions de sécurité qui peuvent être posées par ces réfrigérants.

On trouvera des informations spécifiques concernant ces alternatives inflammables, plus toxiques, nécessitant de plus hautes pressions de fonctionnement, afin de mieux comprendre comment ces substituts peuvent être utilisés et quelles mesures doivent être prises pour permettre au secteur d'assurer correctement la sécurité.

Cette publication a été écrite pour les Bureaux nationaux de l'ozone (BNO) et autres parties intéressées dans les pays en développement et apporte des suggestions et des conseils pour que les BNO puissent accompagner et conseiller les parties prenantes nationales. L'accent est mis sur les systèmes neufs, dans la mesure où l'utilisation des alternatives inflammables, plus toxiques ou nécessitant de hautes pressions est fortement déconseillée dans des installations existantes, fonctionnant aux HCFC. Une place importante est également donnée aux recommandations et aux prescriptions du *Comité exécutif du Fonds multilatéral pour la mise en œuvre du Protocole de Montréal*.

# Sommaire

Remerciements	3
Résumé analytique	4
Avant-propos	6
1. Introduction	7
2. Vue d'ensemble des fluides frigorigènes	9
3. Utilisation sécurisée des frigorigènes	24
4. Considérations détaillées pour les frigorigènes	34
5. Protocole de Montréal, réfrigérants alternatifs et problèmes de sécurité : Méthodologies	56
6. Conseils aux Bureaux nationaux ozone (BNO)	59
7. Suggestions de lecture	63
Annexe : Données techniques sur les fluides frigorigènes	64

# Avant-propos

Le 1er janvier 2015, les pays en développement ont atteint la deuxième étape importante dans l'élimination des hydrochlorofluorocarbures (HCFC) dans le cadre du protocole de Montréal sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone : une réduction de 10% de leur production et de leur consommation. Dans la mesure où, parmi les alternatives aux HCFC possédant un pouvoir de réchauffement global (PRG) faible, nombreuses sont celles qui sont inflammables ou toxiques, ou qui ont une pression de fonctionnement élevée, l'adoption de ces alternatives doit être envisagée en prenant toutes les précautions pour assurer la sécurité de ceux qui installent les équipements, qui les entretiennent et utilisent le matériel adéquat. Ceci est particulièrement important, en particulier lorsque des techniciens ont à faire à des frigorigènes dont les caractéristiques ne leur sont pas familières.

Le PNUE ActionOzone aide les pays en développement à se conformer à leurs engagements pris dans le cadre du protocole de Montréal, principalement ceux qui ont trait à l'élimination des HCFC, ce qui englobe un certain nombre de secteurs économiques et de processus. Un des secteurs les plus importants dans les pays en développement est bien entendu celui de la réfrigération et de la climatisation et il est donc primor-

dial que l'industrie du froid s'adapte à la fois aux questions techniques et aux problèmes de sécurité inhérents à l'utilisation de ces frigorigènes.

Nous sommes donc heureux de vous apporter ce livret sur la sécurité liée à l'utilisation des alternatives aux HCFC. Bien que ce guide soit initialement un outil d'information destiné en priorité aux BNO, il pourra présenter un intérêt certain pour les techniciens de maintenance en froid et climatisation, les organisations professionnelles et les autres parties prenantes dans le secteur du froid.

Nous espérons que vous trouverez ce guide à la fois intéressant et informatif et qu'il vous apportera une vision d'ensemble utile et quelques conseils pratiques dans le cadre de l'adoption de réfrigérants en remplacement des HCFC. ActionOzone n'a de cesse d'accompagner vos efforts vers l'élimination des HCFC et l'adoption des alternatives, non nocives pour la couche d'ozone, sans effet de serre et économes en énergie, dans le respect de la sécurité.

**Shamila Nair-Bedouelle PhD, HDR**

*Chef du service ActionOzone  
PNUE Division de la Technologie,  
de l'Industrie et de l'Economie*

# 1 Introduction



Les hydrochlorofluorocarbures (HCFC), comme le HCFC-123 et le HCFC-22, sont actuellement éliminés progressivement dans les pays visés à l'article 5, d'ici à 2030, avec une petite allocation pour l'entretien des installations par la suite. Beaucoup des frigorigènes de remplacement - en particulier ceux qui ont un PRG faible - ont des propriétés qui exigent une attention particulière en ce qui concerne la sécurité par rapport aux réfrigérants ordinaires, HCFC ou hydrofluorocarbures (HFC). Alors que les substituts du HCFC-123 (parmi lesquels on compte le HFC-245fa, le HFC-134a ou, plus récemment, le HFO-1233zd) ne posent pas de problèmes supplémentaires de sécurité, les nombreuses alternatives au HCFC-22 que l'on peut utiliser dans les différents usages sont inflammables, sont plus toxiques ou fonctionnent à des pressions largement supérieures.

Bien que beaucoup de ces fluides frigorigènes soient déjà utilisés plus

ou moins fréquemment, souvent dans des pays non visés à l'article 5, il est important que les personnes engagées dans le remplacement du HCFC-22 par des réfrigérants de substitution soient informées de ces propriétés et sachent y faire face. En particulier, le succès de l'utilisation sécurisée de ces frigorigènes dépend de l'application d'une réglementation adaptée, d'une formation minimum des techniciens de maintenance, de normes de sécurité adéquates, de la stricte observance de procédures de maintenance adaptées et de l'installation de dispositifs de sécurité suivant les recommandations des fabricants.

Cette publication a donc pour objectif d'apporter aux Bureaux nationaux de l'Ozone (BNO) les informations de base nécessaires pour savoir quand et où ces réfrigérants alternatifs peuvent être utilisés et connaître les mesures à envisager pour aider l'industrie et les autres parties prenantes à les adopter dans le respect de la sécurité, si ce

choix est fait. Les mesures de sécurité s'appliquent sur l'ensemble de la chaîne, de la production à la maintenance en passant par l'installation, la mise en œuvre et l'entretien, jusqu'à la mise hors service des installations.

Cette publication a donc pour but d'apporter :

- Une vue d'ensemble des fluides frigorigènes de remplacement pour le HCFC-22, inoffensifs pour la couche d'ozone et sans impact sur le climat, ainsi que leurs caractéristiques de base ;
- Les types de situation dans lesquels on peut envisager d'utiliser ces substituts ;
- Une estimation des différents niveaux et des parties prenantes pouvant être affectées par ce choix ;
- Une présentation générale des questions de sécurité posées par ces réfrigérants en général ;
- Les classifications des différents frigorigènes et une explication des différents types de système de réfrigération<sup>1</sup> ;
- Un résumé des différentes normes qui se rapportent à l'utilisation des frigorigènes ;
- Des exemples montrant quantitativement les limites qui peuvent s'appliquer aux différents réfrigérants de substitution ;
- Les implications spécifiques à l'utilisation de réfrigérants inflammables, hautement toxiques ou fonctionnant à de hautes pressions ;
- Quelques exemples de la façon dont le protocole de Montréal et les pays développés se sont attaqués

aux questions de sécurité dans le développement de certains projets ;

- Des suggestions d'ordre général sur la manière dont les BNO peuvent conseiller les parties prenantes de leurs pays dans ce cadre.

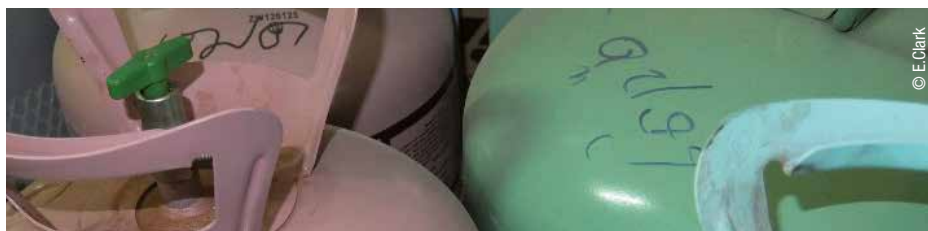
Cette publication se concentrera essentiellement sur les systèmes neufs, dans la mesure où l'utilisation des alternatives inflammables, plus toxiques ou nécessitant de hautes pressions est fortement déconseillée dans des installations existantes, fonctionnant aux HCFC.

Enfin, les réfrigérants HFC communément utilisés – comme le HFC-134a, le R-404A et le R-407C – ne sont pas pris en compte ici car leurs propriétés ne sont pas fondamentalement différentes de celles du HCFC-22. Les informations relatives à l'utilisation de ces substances peuvent être trouvées facilement dans la documentation.

<sup>1</sup> Le terme "système de réfrigération" est utilisé ici pour faire référence aux circuits de réfrigération que l'on peut trouver dans les équipements de refroidissement et de conditionnement d'air, et les pompes à chaleur.



# 2 | Vue d'ensemble des fluides frigorigènes



## Types de réfrigérant et sélection

Il existe un nombre relativement important de substances qui sont utilisées comme fluides frigorigènes. Les plus importants d'entre eux sont présentés dans la Figure 1.

Toutes ces substances, hormis les chlorofluorocarbures (CFC) et les hydrochlorofluorocarbures (HCFC) sont autorisées par le protocole de Montréal ; en conséquence, toutes les autres peuvent être considérées comme réfrigérants de substitution. Parmi elles on peut distinguer les substances « naturelles » et les fluides « synthétiques ».

Alors que certaines de ces substances peuvent être utilisées pures comme fluides frigorigènes, il est fréquent d'utiliser des mélanges de deux ou plus de ces substances (parfois jusqu'à sept

composants différents) pour obtenir un ensemble de propriétés désirées (c.-à-d. des valeurs relatives à la pression, à l'inflammabilité, à la solubilité dans l'huile, etc.).

Les mélanges de fluides frigorigènes peuvent être divisés en zéotropiques ou azéotropiques. Les zéotropes se caractérisent par une variation de température et un changement de composition lors des changements de phases, alors que les azéotropes se comportent comme des substances pures durant les changements de phase. Cependant, certains zéotropes sont parfois classés comme mélanges quasi-azéotropes car leur variation de température et de composition est suffisamment faible pour que, d'un point de vue pratique, ils se comportent comme des corps purs.

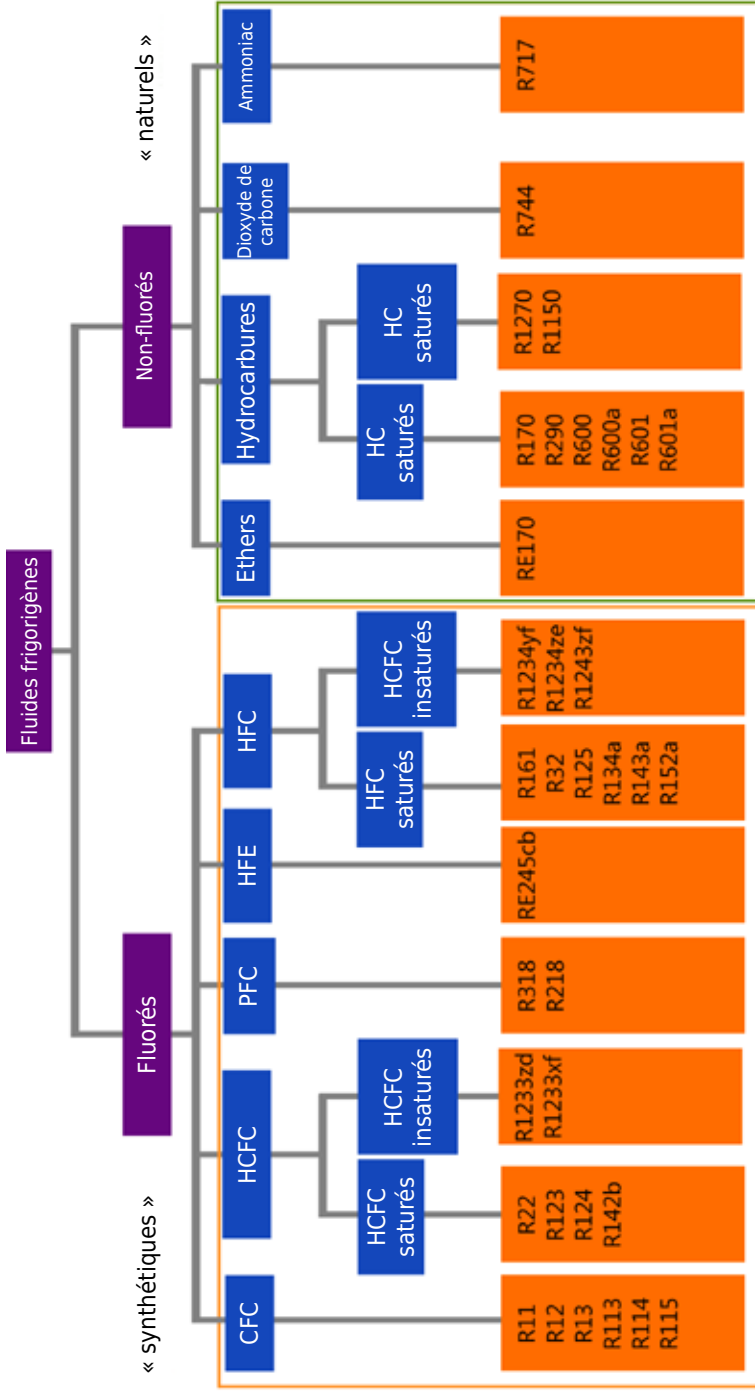


Figure 1. Catégories de substances et substances isolées utilisées comme frigorigène

PFC: Perfluorocarbon  
 HFE: Fluorinated ethers

On peut aussi classer ces substances selon :

- le pouvoir d'appauvrissement de la couche d'ozone (PAO),
- le pouvoir de réchauffement global (PRG),
- les caractéristiques de sécurité (inflammabilité, toxicité),
- le niveau de pression requis.

Ces caractéristiques déterminent le choix du réfrigérant et conditionnent la manière dont il sera utilisé.

On trouvera dans le tableau n°1 les informations de base concernant les fluides frigorigènes courants (HCFC-22, HFC-134a, R-404A et R-407C) et de quelques-uns de leurs substituts dont les caractéristiques de sécurité sont notablement différentes. Dans l'annexe (page 64) on trouvera une liste complète des réfrigérants courants (référencés en « R ») et les données les concernant.



Tableau n°1. Informations de base concernant les réfrigérants courants

Réfrigérant	Désignation chimique ou composition du mélange (en % de la masse)	PAO <sup>†</sup>	PRG <sup>‡</sup>		Fluide frigorigène comparable*
			(100)	(20)	
HCFC-22	Chlorodifluorométhane	0.05	1780	5310	-
HFC-32	Difluorométhane	0	704	2530	R-410A
HCFC-123	2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroéthane	0.03	79	292	-
HFC-134a	1,1,1,2-tétrafluoroéthane	0	1360	3810	CFC-12
HFC-152a	1,1-difluoroéthane	0	148	545	CFC-12, HFC-134a
HC-290	Propane	0	5	18	HCFC-22
R-404A	125/143a/134a (44,0/52,0/4,0)	0	4200	6600	HCFC-22
R-407C	32/125/134a (23,0/25,0/52,0)	0	1700	4100	HCFC-22
R-410A	32/125 (50,0/50,0)	0	2100	4400	-
R-444A	32/152a/1234ze(E) (12,0/5,0/83,0)	0	90	330	CFC-12, HFC-134a
R-444B	32/152a/1234ze(E) (41,5/10/48,5)	0	310	1100	HCFC-22
R-445A	744/134a/1234ze(E) (6,0/9,0/85,0)	0	120	350	CFC-12, HFC-134a
R-446A	32/1234ze(E)/600 (68,0/29,0/3,0)	0	480	1700	R410A
R-447A	32/125/1234ze(E) (68,0/3,5/28,5)	0	600	1900	R410A
R-451A	1234yf/134a (89,8/10,2)	0	140	390	CFC-12, HFC-134a
R-451B	1234yf/134a (88,8/11,2)	0	150	430	CFC-12, HFC-134a
R-454A	32/R1234yf (35,0/65,0)	0	250	890	HCFC-22
R-454B	32/R1234yf (68,9/31,1)	0	490	1740	R410A
HC-600a	Isobutane	0	4	15	CFC-12, HFC-134a
R-717	Ammoniac	0	0	0	HCFC-22
R-744	Dioxyde de carbone	0	1	1	-
HFC-1234yf	2,3,3,3-tétrafluoro-1-propène	0	< 1	1	CFC-12, HFC-134a
HFC-1234ze(E)	Trans-1,3,3,3-tétrafluoro-1-propène	0	< 1	4	CFC-12, HFC-134a
HC-1270	Propène	0	2	7	HCFC-22

† PAO : valeurs réglementaires ; PRG : valeurs scientifiques (PNUE, 2014)<sup>2</sup>

\* "Fluide frigorigène comparable" s'entend en termes de pression de fonctionnement et de capacité volumétrique de réfrigération

On trouvera en figure 2 un diagramme représentant les risques associés à quelques-uns des principaux réfrigérants alternatifs ; ce diagramme est purement indicatif et ne tient pas compte de la grande variabilité du degré de

danger présenté par ces substances dans chaque classe de risque. Les caractéristiques de sécurité présentées sommairement ici seront étudiées plus en détail dans les sections ci-dessous.

<sup>2</sup> Chapitre 2, UNEP, 2014 Report of the Refrigeration, Air conditioning and Heat pumps Technical Options Committee, 2014 Assessment, United National Environment Programme, Nairobi

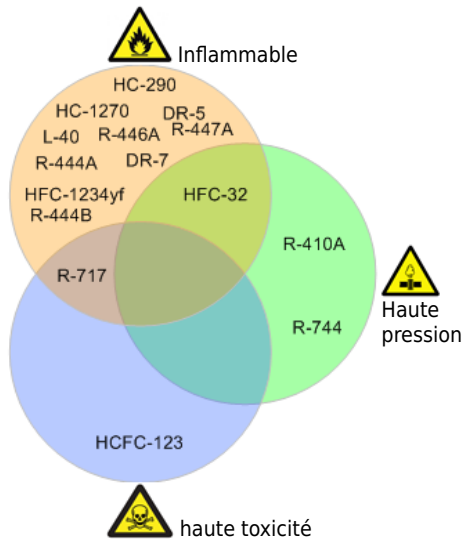


Figure 2. Répartition des dangers associés aux frigorigènes alternatifs

De manière générale, il y a plusieurs facteurs importants à prendre en compte pour le choix d'un réfrigérant de substitution. On compte :

- PAO zéro,
- Impact sur le changement climatique (direct ou par les émissions dues à la consommation d'énergie),
- Performance (capacité and efficacité),
- Sécurité, inflammabilité, toxicité et pression de fonctionnement,
- Impact sur les coûts de production,
- Disponibilité et coût du fluide frigorigène,
- Disponibilité et coût des composants du système,
- Savoir-faire et technologie requis pour la mise en œuvre,
- Possibilités de recyclage,
- Bonne stabilité dans les conditions d'exploitation et avec les matériaux du système.

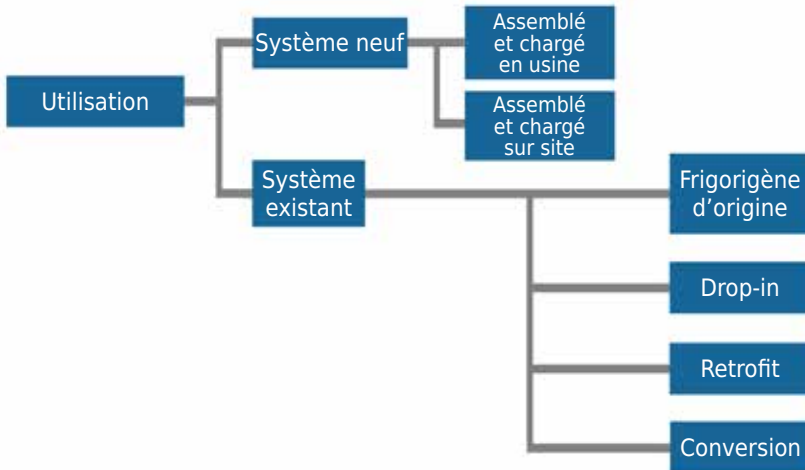
Le choix d'un fluide frigorigène pour une application donnée résultera d'un compromis entre tous les critères cités ci-dessus. Hormis le PAO zéro, les autres paramètres doivent être pesés et contre-balançés pour atteindre un compromis optimum pour chaque type de système ou d'application. En particulier, les émissions de carbone devront comptabiliser à la fois les contributions « directes » et « indirectes » du produit sur toute la durée de son cycle de vie. On trouve dans la documentation disponible un certain nombre d'approches méthodologiques dont l'Impact de réchauffement global équivalent (TEWI), l'Indice de performance climatique sur le cycle de vie (Life-Cycle Climate Performance, LCCP), l'Indicateur d'impact sur le climat du Fonds multilatéral (MCII) et d'autres méthodes.

# Type de réfrigérant selon l'application

Les fluides réfrigérants de remplacement peuvent être utilisés de différentes manières, comme indiqué dans la Figure 3. On peut les utiliser dans des systèmes neufs – qu'ils soient chargés en usine, directement sur la ligne d'assemblage, ou chargés sur site, dans des systèmes montés sur le lieu d'utilisation – ou utilisés pour remplacer l'ancien fluide

dans des systèmes existants. Pour des systèmes existants, le fluide frigorigène qui est chargé peut être du même type que celui qui est remplacé ou être de type différent, ce qui nécessite une intervention sur le système pour le rendre compatible ou modifie les performances du système.

Figure 3. Situations les plus courantes d'utilisation de fluides réfrigérants



## Application dans un système neuf

Pour un système neuf, on rencontre principalement deux situations : le système monté et chargé en usine et le système monté et chargé sur site. Les systèmes montés en usine comprennent les réfrigérateurs domestiques, les réfrigérateurs commerciaux sur secteur, les climatiseurs individuels, monoblocs ou split-system, les unités de production de froid pour chambres froides, etc. Les systèmes montés et chargés sur site comprennent les armoires réfrigérantes et chambres froides utilisant des unités

de condensation, les systèmes centralisés pour supermarchés, certains systèmes pour l'industrie, etc. Pour les systèmes montés et chargés en usine, le fabricant choisit normalement le fluide frigorigène et conçoit le système en sélectionnant les composants spécifiquement pour le réfrigérant choisi. Pour les systèmes montés et chargés sur site, l'entreprise spécialisée missionnée ou l'utilisateur final choisissent le réfrigérant au cas-par-cas et conçoivent le système en choisissant les composants en fonction de ce choix.



© Daniel Colbourne



© Daniel Colbourne

Figure 4 : Charge d'un équipement sur la ligne de production

# Application dans un système existant

Parallèlement à l'élimination en cours des HCFC, demeure le besoin d'entretenir et de réparer le parc des systèmes existants jusqu'à la fin de leur vie. Changer le fluide frigorigène d'un système existant peut être plus complexe et demande réflexion quant aux conséquences possibles.

Lorsque l'on procède à l'entretien de ces équipements, le choix qui se présente doit se faire entre les catégories suivantes :

- Frigorigène d'origine,
- « drop-in<sup>3</sup> », remplacement par un équivalent sans modifications,
- « retrofit », adaptation de nouvelles pièces ou technologies,
- Conversion (à un frigorigène inflammable).

Dans la mesure où entre 60 et 80% environ des ventes de frigorigène sont destinées au secteur de la maintenance, la plus grande part des frigorigènes consommés sont utilisés dans des systèmes existants. La consommation d'HCFC peut être réduite grâce à l'utilisation de frigorigènes alternatifs dans les équipements existants. Dans le cas d'un remplacement du frigorigène et de retrofit dans un système fonctionnant aux HCFC, le PRG du nouveau fluide doit aussi être pris en considération, car de nombreux mélanges ont un PRG plus élevé.

Quand on envisage de charger un système existant avec un nouveau frigorigène, il y a un certain nombre de critères à prendre en considération pour cibler le choix du fluide le plus adapté, à savoir :

- une capacité volumétrique de réfrigération aussi proche que possible sur toute la plage de températures de fonctionnement normal du condenseur et de l'évaporateur ;
- n'entraîne pas de perte d'efficacité énergétique ;
- ne dépasse pas les capacités de pression du système à la température maximum du condenseur ;
- présente un glissement de température proche, ou un glissement négligeable si le fluide d'origine était un fluide homogène ;
- présente une solubilité avec l'huile et une lacune de miscibilité similaires ;
- inflammable ;
- plus faible toxicité ;
- peut être obtenu facilement dans le commerce (à un coût raisonnable) ;
- PAO zéro, faible PRG et, d'une manière générale, un impact environnemental plus faible.

Il y a un certain nombre d'autres paramètres qu'il convient de prendre en considération. Mais en pratique, il est peu probable qu'un frigorigène disponible dans le commerce réunisse tous les critères ci-dessus et il faut donc se préparer à faire des compromis.

Il est à noter que la quantité de fluide de remplacement nécessaire sera presque toujours différente de celle de fluide d'origine.

Dans tous les cas, avant de remplacer le fluide d'origine par un autre, il est recommandé de consulter le fabricant du système.

<sup>3</sup> On utilise habituellement le terme "drop-in" pour ce type de remplacement. Cependant, il n'existe pas d'alternatives ayant de propriétés thermodynamiques, chimiques ou de sécurité identiques à celles des frigorigènes existants (ex : HCFC-22) le terme "drop in" n'est donc pas entièrement correct.



## *Frigorigène d'origine*

Si l'on utilise le fluide existant à la suite d'une réparation, on peut suivre les procédures standards, en utilisant du fluide neuf, récupéré ou recyclé (exemple courant : HCFC-22). En conséquence, la mise en place

de programmes de récupération et de recyclage, associés à l'offre de frigorigènes de remplacement ou adaptés au retrofit peut contribuer à réduire la demande de HCFC-22.



Figure 5 : Charge d'un système de climatisation avec du HCFC-22

## *Drop-in*

On appelle drop-in le remplacement du seul fluide par un équivalent, où le HCFC est remplacé par un mélange, mais sans changer le lubrifiant utilisé dans l'équipement d'origine ni aucun autre composant du système. Les fluides utilisés pour cette opération sont connus sous l'appellation de « fluides drop-in » ou fluides de remplacement direct. Un changement de fluide de ce type résulte dans la plupart des cas en une baisse de capacité ou d'efficacité du système, des pressions et températures de fonctionne-

ment différentes ainsi qu'une puissance du compresseur plus faible qu'avec le fluide d'origine HCFC.

On trouve depuis quelques temps un certain nombre de fluides frigorigènes de substitution au HCFC-22, qui essaient de reproduire les performances du HCFC-22. Malgré tout, ils ont rarement des performances aussi bonnes que celle du HCFC-22, à cause d'une capacité et/ou d'une efficacité plus faibles.

## Retrofit

Le retrofit (ou adaptation) consiste à changer non seulement le fluide frigorigène, mais aussi certains composants du système, comme le lubrifiant (bien que cela ne soit pas toujours nécessaire), le filtre sécheur (si besoin) et quelques modifications plus importantes qui peuvent aller jusqu'au remplacement

du compresseur, du vase d'expansion, et de purger et rincer le système pour en évacuer toute trace résiduelle de lubrifiant. Procéder à un retrofit peut être beaucoup plus coûteux que d'utiliser le frigorigène d'origine, remplacer le fluide sans autre modification ou même remplacer complètement l'appareil.



Figure 6 : Changement de fluide frigorigène dans un appareil de climatisation

## Conversion aux fluides frigorigènes inflammables<sup>4</sup>

On parle de conversion quand le fluide frigorigène est remplacé par un autre sans que les composants du circuit de réfrigération ou le lubrifiant soient obligatoirement concernés, à la manière d'un retrofit, mais, parce que le fluide de remplacement est inflammable, les aspects externes de l'équipement, comme des sources possibles d'ignition,

doivent être traités. Cependant, comme il s'agit d'un processus complexe et qui peut poser des problèmes de sécurité inattendus, elle n'est normalement pas recommandée. En outre, un tel changement de fluide frigorigène peut également affecter la capacité et/ou l'efficacité, les pressions et températures de fonctionnement, la lubrification, etc., par rapport au fluide d'origine HCFC.

<sup>4</sup> Lors d'une réunion du Comité exécutif en mai 2014, la décision 72/17 a été adoptée, qui pose que lorsque quiconque « s'engage à adapter des équipements de réfrigération et de climatisation à base de HCFC à des frigorigènes inflammables ou toxiques et aux activités d'entretien s'y rapportant, il le fait en étant entendu qu'il assume toutes les responsabilités et tous les risques qui s'y rapportent ». ([www.multilateralfund.org/72/French/1/F7247.pdf](http://www.multilateralfund.org/72/French/1/F7247.pdf)). Ce qui signifie essentiellement que les organismes dépendant du Fonds multilatéral ne fermeront pas nécessairement les yeux et n'endosseront pas la responsabilité des conséquences indésirables de l'utilisation de frigorigènes inflammables dans un équipement pas conçu pour leur utilisation

La conversion est pratiquée dans certains pays, alors qu'elle est illégale dans d'autres. Bien que ces fluides frigorigènes puissent offrir une capacité et une efficacité proches de celles du HCFC-22, cette pratique peut poser de sérieux problèmes de sécurité liés à l'inflammabilité. En général, les HC ne sont pas recommandés pour une utilisation dans des systèmes qui n'ont pas été conçus spécifiquement pour eux. Si des HC sont

envisagés alors les normes, les règles de sécurité spécifiques et le code de bonne pratique doivent être appliqués strictement. Pour plus d'informations sur l'utilisation de ces fluides frigorigènes, deux publications du GIZ : *Guidelines for the safe use of hydrocarbon refrigerants* et *Guidelines for the safe use of flammable refrigerants in the production of room air-conditioners* peuvent être consultées (voir conseils de lecture page 63).



Figure 7 : Entretien d'un système de toit

## Utilisation dans des systèmes de réfrigération, de climatisation ou de pompe à chaleur neufs

On peut récapituler les usages pratiques des HCFC et des divers fluides de remplacement, en fonction des différents critères de sélection et des possibilités d'échange. Le tableau n°2 indique dans quels cas tel ou tel fluide frigorigène est utilisé, ou peut l'être.

On voit que dans chaque secteur ou sous-secteur courant, des fluides alternatifs, avec l'application des mesures de sécurité, sont déjà utilisés (dans une certaine mesure), ou ont la possibilité de l'être.

Tableau n° 2 : Application des fluides frigorigènes par secteur.

Secteur/ Sous-secteur	HFC-22	HFC-32	HCFC-123	HFC-152a	HC-290	R-410A	R-444A	R-444B	R-445A	R-446A	R-447A	R-451A	R-451B	R454A	R454B	HC-600a	R-717	R-744	HFC-1234yf	HFC-1234ze(E)	HC-1270
<b>Réfrigération domestique</b>																					
Réfrigérateurs et congélateurs						P		P				P	P			C			P	P	
Froid commercial																					
Equipements autonomes				C	C		P	P				P	P			C		C	P	P	C
Unités de condensation	C	P		C	C	C	P	P		P	P	P	P	P	P			C	P		C
Systèmes centralisés	C			[C]	[C]			P									[C]	C			[C]
Transport frigorifique	C	P		P	P	C	P	P		P	P	P	P	P	P			C	P		P
Installation de froid de grandes dimensions	C	P		C	C			P		P	P			P	P			C	C		C
<b>Climatisation et pompes à chaleur</b>																					
Monobloc	C			C	C	C	P	P				P	P						P		C
Mini-split	C	C		C	C	C		P		P	P			P	P						C
Multi-split	C	P				C		P		P	P			P	P						
Split (avec conduit d'air)	C	P				C		P		P	P			P	P			C			
Commercial (avec ou sans conduit d'air)	C	P		[C]	[C]	C		P		P	P			P	P			C			[C]
Chauffe-eau thermodynamiques	C			C	C	C	P	P	P			P	P			P	C	C	P	P	C
Pompes à chaleur réversibles	C	P		C	C	C	P	P	P	P	P	P	P	P	P		C	C	P	P	C
<b>Refroidisseurs</b>																					
Pompes à déplacement positif	C	P		C	C	C	P	P	P	P	P	P	P	P	P		C	C	P	C	C
Pompes centrifuges			C				P												P	P	
<b>Climatisation embarquée</b>																					
Voitures				P	P		P	P				P	P					C	C		P
Transports publics	C	P				C	P	P	P	P	P	P	P	P	P			C	C		

**légende :**

C indique une utilisation courante à échelle commerciale

P indique une utilisation potentielle dans le futur

[ ] indique que la substance est utilisée dans un système alternatif

## Prise en compte de la durée de vie du système

Pour s'assurer que la sécurité des produits et installations est garantie pour toute la durée de vie d'un équipement - à la fois pour le public et pour le personnel - il est essentiel de prendre en compte chaque stade de la vie de l'équipement. Les étapes principales de la vie d'un équipement sont détaillées dans la figure 8.

Sur la gauche se trouvent les étapes-clés de la vie de l'équipement, de la conception du produit jusqu'au démantèlement de l'équipement. Dans la colonne du centre se trouvent indiqués les personnels qui sont concernés au premier chef par le travail à faire à ce stade. A droite se trouvent des exemples de travaux que ces personnels doivent être capable

d'exécuter pour maintenir un niveau élevé de sécurité. Tous les personnels impliqués doivent être conscients de leurs responsabilités, et l'encadrement doit s'assurer que les travailleurs sont informés et conscients de ces responsabilités. De plus, il est clair que ces interventions effectuées par ces personnels à chaque étape de la vie de l'équipement auront des conséquences aux stades suivants.

En général, dans la mesure où l'étape « exploitation - en cours d'utilisation » représente la plus grande partie de la vie de l'équipement, c'est dans cette période que les conséquences sur la sécurité d'un bon entretien sont les plus importantes.



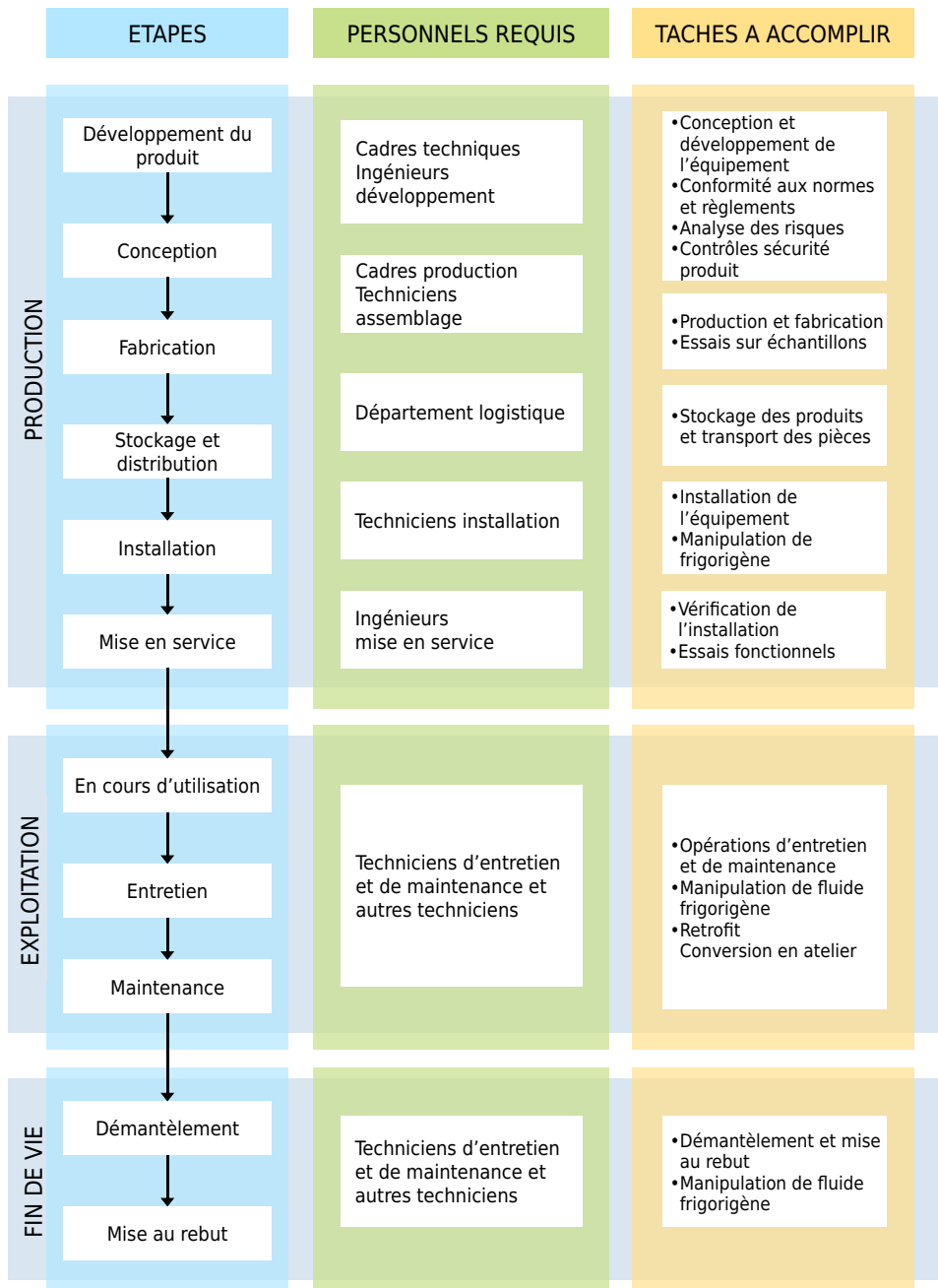


Figure 8. Vue d'ensemble des étapes de la vie d'un équipement de réfrigération, des personnels importants et des tâches à accomplir.

Il y a des activités qui sont communes à plusieurs étapes, ce qui signifie que beaucoup des personnes concernées à ces différents stades doivent être familiarisées avec les détails techniques des diverses sections. Par exemple, les personnes qui travaillent à la production, à l'installation, à l'entretien, à la maintenance et au démantèlement doivent toutes bien connaître les bonnes pratiques de manipulation des fluides frigorigènes. De même, les personnes qui prennent part à la conception, à l'installation, à la mise en service et à la maintenance doivent toutes être au fait des obligations imposées par les normes de sécurité, dans le cadre de leurs tâches. Ainsi beaucoup de ces points sont reliés entre eux aux différents stades de la vie de l'équipement.

En général, à chacune de ces étapes, lorsqu'une organisation prépare le matériel et travaille à la tâche en cours, les points des étapes suivantes doivent rester à l'esprit des personnels dans le but d'assurer le niveau de sécurité nécessaire :

- Pour venir en aide à ceux qui travaillent aux différents stades, il serait utile de fournir aux personnels des manuels d'utilisation ou des guides, concis et faciles à utiliser, se concentrant sur chacune des tâches importantes qui doivent être accomplies. S'assurer que ces guides soient compréhensibles et que les informations soient vérifiées.

- Donner une formation adéquate et complète à tous les intervenants, à la fois théorique et pratique.
- Vérifier dans les brochures, les manuels, les modes d'emploi, la documentation des fabricants et des fournisseurs de fluides frigorigènes etc., et lire la réglementation originale et les normes de sécurité, afin de s'assurer que les informations correctes sont utilisées<sup>5</sup>,
- Développer un système pour obtenir un retour d'information des autres étapes et mettre en place une organisation pour le partage des informations. En utilisant ce feedback, des techniciens de terrain, par exemple, sur des aspects comme les fuites, les pannes de l'équipement et de ses composants, les problèmes rencontrés lors des réparations, etc. L'utilisation de ces informations va permettre d'améliorer grandement la sécurité dans le futur.

Enfin, un manuel ne pourra jamais anticiper toutes les situations que l'on peut rencontrer, et toutes les particularités des différents types d'équipement, Il est donc très important que les personnes comprennent la logique qui sous-tend les règles à appliquer, de manière à ce que, en cas d'imprévu, elles puissent s'adapter à toute situation.

<sup>5</sup> cf. Conseils de lecture, page 63



# 3 Utilisation sécurisée des frigorigènes



## Les dangers

Tous les fluides frigorigènes présentent un certain nombre de conséquences potentielles sur le plan de la sécurité :

- Asphyxie, quand l'absence d'oxygène provoque la suffocation ;
- Brûlures par le froid, quand le fluide froid provoque des gelures ;
- Effets de la toxicité - aigus/ à court terme (anesthésie, troubles cardiaques) et chroniques/ à long terme (lésions du foie) ;
- Inflammabilité et explosion, quand le fluide entre en combustion rapide au contact d'une source d'ignition ;
- Pression (libération brutale), quand une onde de choc se produit lors d'une décompression rapide.

Les risques encourus avec les fluides frigorigènes peuvent être catégorisés en fonction de leurs conséquences directes et indirectes, à court et long terme, comme le montre l'illustration n°9. Principalement à la suite d'une libération brutale de fluide réfrigérant,

une séquence d'événements peut s'ensuivre qui peut mener au final à des dommages d'une forme ou d'une autre aux biens et aux personnes. En fonction du type de substance, l'environnement et les conditions dans lesquelles elle est libérée peuvent amener une grande variété de conséquences.

Avec l'introduction et potentiellement l'usage généralisé de fluides frigorigènes inflammables, plus fortement toxiques ou fonctionnant à des pressions plus élevées que les fluides réfrigérant ordinaires, la prise en compte des questions de sécurité prend une importance plus grande. Ainsi, une attention plus grande doit être portée aux exigences des normes de sécurité, à la réglementation et aux bonnes pratiques de la profession qui se réfèrent directement aux fluides réfrigérants qui possèdent ces caractéristiques.



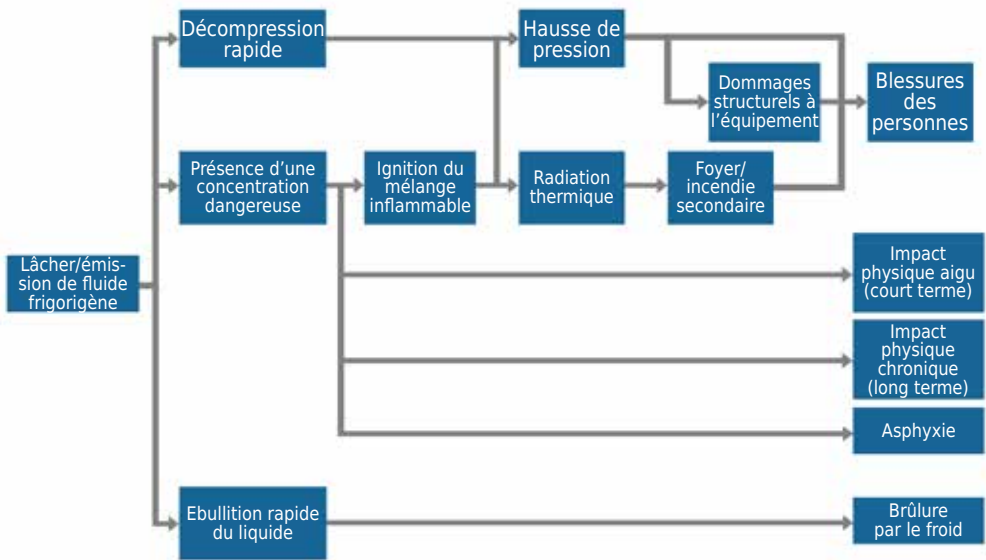


Figure 9. Vue d'ensemble des différents dangers liés à une libération brutale de fluide frigorigène

## Classification de sécurité des fluides frigorigènes

La classification des substances la plus utilisée est celle du système général harmonisé des Nations Unies pour les produits dangereux. Chaque substance se voit attribuer une désignation alphanumérique, dépendant de son état et des risques qu'elle présente pour la

sécurité. En fonction de la classification de la substance, il existe un ensemble de règles génériques concernant la manipulation, l'étiquetage et d'autres questions. Une illustration du système pour quelques fluides frigorigènes figure dans le tableau n°3.

Numéro d'état	Etat	Code lettre du risque	Risques	Exemples
2	Gaz liquéfié (sous pression)	A	Non-inflammable	HCFC-22, R-744
		F	Inflammable	HC-290, HFC-32
		TC	Toxique et corrosif	R-717

Table 3. Exemples de classification des substances dangereuses dans le système de l'ONU

Dans l'industrie du froid, on applique un système de classification différent, dans lequel on attribue à la plupart des frigorigènes une classification de sécurité, qui dépend de sa toxicité et de son inflammabilité. C'est la classification qui est adoptée par les norme internationale comme l'ISO 817.6

La classification de toxicité est basée sur l'observation ou non d'effets toxiques à une certaine concentration ; il y a deux classes de toxicité :

- **Classe A** : aucun effet de toxicité chronique n'a été observé en dessous de 400 ppm
- **Classe B** : des effets de toxicité chronique ont été observés en dessous de 400 ppm

La classification d'inflammabilité dépend de la capacité de ces substances à s'enflammer dans des conditions de tests normalisées, et si c'est le cas, quelle est la limite inférieure d'inflammabilité (LII - ou LFL en anglais) et quelle est la chaleur de combustion. Il y a aujourd'hui 4 classes d'inflammabilité (selon la norme ISO 817) :

- **Classe 1** : ne montrent aucune propagation de flamme à 60°C à pression atmosphérique normale
- **Classe 2L** : comme la classe 2, mais avec une vitesse de flamme laminaire de moins de 0,10 m/s
- **Classe 2** : montrent une propagation de flamme à 60°C et à pression atmosphérique, mais ont une LII supérieure à 3,5% en volume, et ont une chaleur de combustion inférieure ou égale à 19 000 kJ/kg
- **Classe 3** : montrent une propagation de flamme à 60°C et à pression atmosphérique, mais ont une chaleur de combustion supérieure ou égale à 19,000 kJ/kg

En général, une classification plus « haute » - c'est-à-dire une toxicité de classe B plutôt que de classe A, et une inflammabilité de classe 3 plutôt que de classe 1 - signifie que le système frigorifique a des caractéristiques de conception qui le rendent plus onéreux, pour faire face aux exigences qu'impliquent les risques supérieurs présentés par le fluide frigorigène (figure 10).



<sup>6</sup> International Organization for Standardization (ISO) 817, Fluides frigorigènes – Désignation et classification de sécurité

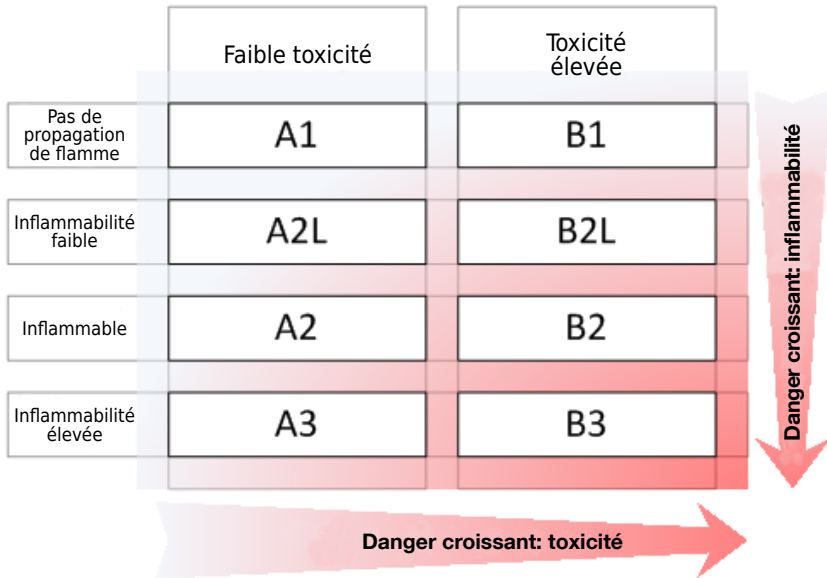


Figure 10. Classification des fluides frigorigènes selon la norme ISO 817 et leur influence sur les mesures de sécurité à prendre

En plus de la classification alphanumérique, il y a trois autres paramètres qui sont déterminés pour chaque réfrigérant et qui permettent de déterminer la quantité de fluide acceptable pour une situation donnée (en fonction du type d'installation du système frigorifique).

- **Limite inférieure d'inflammabilité :** La limite inférieure d'inflammabilité (LII - ou LFL en anglais) des fluides frigorigènes est en pratique une contrainte quant à la quantité de fluide frigorigène qui peut être relâchée dans une pièce, car elle représente la plus petite quantité qui, en présence d'une source d'ignition, pourrait produire une flamme.
- **Seuil de toxicité aiguë :** Le seuil de toxicité aiguë (STA - ou ATEL en anglais) de tout frigorigène peut aussi s'appliquer comme une contrainte quant à la quantité de fluide qui peut être relâchée dans une pièce, car il représente la plus

petite quantité qui pourrait produire des effets toxicologiques néfastes sur les occupants.

- **Limite pratique (LP - ou PL ou RCL en anglais) :** Limite de concentration dans l'air d'une pièce, c'est une mesure de sécurité supplémentaire pour les applications des frigorigènes, et elle représente la plus forte concentration qui puisse exister dans une pièce sans que les effets sur les occupants soient assez aigus pour les empêcher de s'échapper. C'est donc la concentration de fluide frigorigène la plus faible à laquelle commence le « danger », ce qui constitue un facteur de sécurité à appliquer. Pour les fluides de classe A1, de classe B, voire de classe A2L, la PL est fonction du STA, alors que pour les fluides A2 et A3, elle dépend normalement de la LII.

# Classification des systèmes frigorifiques, lieux d'implantation et type d'usage des locaux

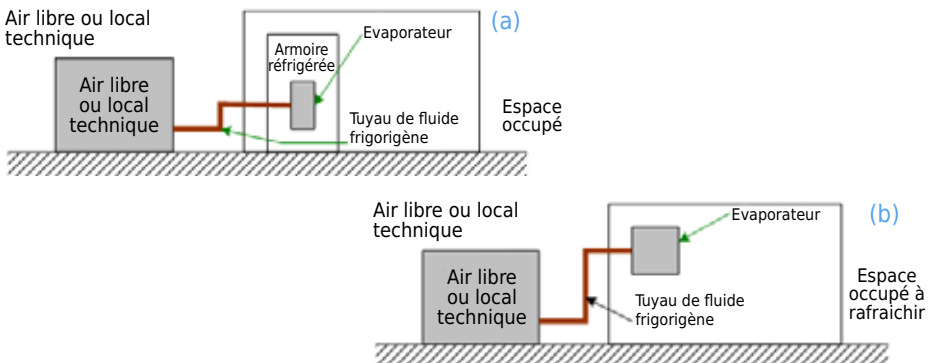
Quand un fluide frigorigène spécifique est employé dans un système, les caractéristiques du système dans lequel il est utilisé et les caractéristiques de l'environnement local déterminent la façon dont il est utilisé ainsi que les quantités de fluide frigorigène qui sont autorisées, suivant les normes de sécurité courantes (ex. : EN 387<sup>7</sup>, ISO 5149<sup>8</sup>). Il existe plusieurs configurations de système qui font varier l'endroit où se trouvent les différentes parties du système en fonction du type d'occupation des locaux.

Les configurations les plus fréquentes peuvent se diviser en deux types différents : direct et indirect (par rapport au lieu à rafraîchir ou à réchauffer). Un système est dit « direct » lorsque les parties qui contiennent le fluide réfrigérant sont dans l'espace à rafraîchir ou à réchauffer (qu'il s'agisse d'une chambre froide, d'une vitrine réfrigérée ou d'une pièce climatisée) et le fluide, en cas de fuite, pourrait se répandre facilement dans l'espace à rafraîchir ou à réchauffer. Un système est

dit « indirect » quand il utilise un fluide caloporteur, comme de l'eau, de la saumure ou du glycol, pour transférer l'énergie calorifique entre l'espace à rafraîchir et le circuit primaire de fluide frigorigène ; de sorte que s'il devait y avoir une fuite de fluide frigorigène, il est improbable que le fluide pénètre dans l'espace à rafraîchir ou à réchauffer et le risque est logiquement moins élevé.

La figure 11 montre des exemples de systèmes directs. Le cas (a) pourrait être un climatiseur de type split ou une chambre froide, le cas (b) pourrait être une armoire ou une vitrine réfrigérée, reliée à une unité de condensation externe, le cas (c) pourrait être un système de climatisation central, avec conduits d'air, et le cas (d) pourrait être une armoire réfrigérée mobile ou un climatiseur monobloc. Dans tous ces cas, il y a de la tuyauterie contenant du fluide réfrigérant, ou des parties contenant du fluide réfrigérant, qui, en cas de fuite, pourrait laisser s'échapper du fluide réfrigérant dans l'espace occupé.

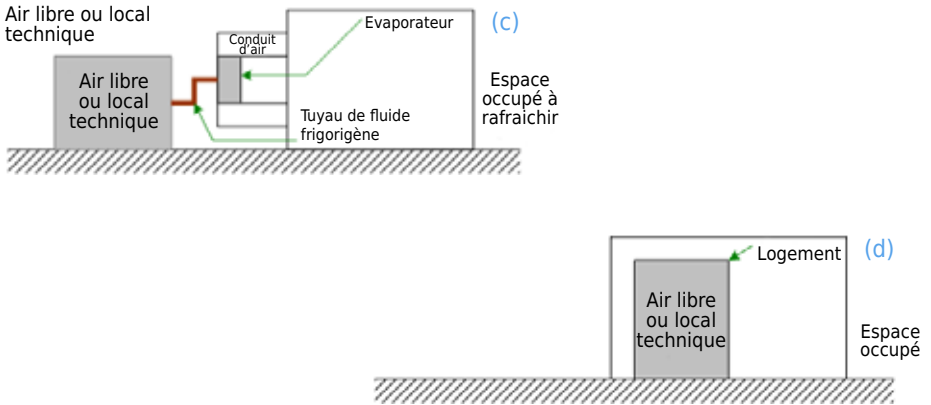
Figure 11. Exemples de systèmes directs



<sup>7</sup> EN 378 : Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d'environnement

<sup>8</sup> ISO 5149 : Systèmes frigorifiques et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d'environnement

Figure 11. (continued) Exemples de direct systems

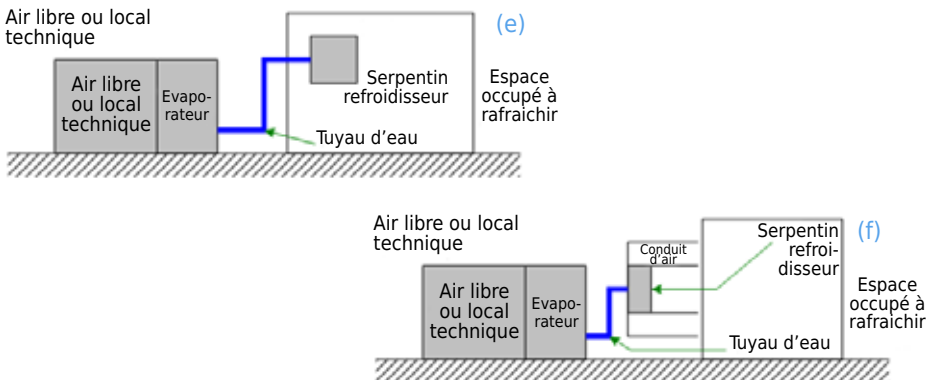


La figure 12 montre des exemples de systèmes indirects. Le cas (e) pourrait être un entrepôt frigorifique utilisant de la saumure ou un climatiseur à refroidissement par eau, et le cas (f) pourrait être un système de climatisation utilisant un serpentin d'eau refroidie dans un système central à circulation d'air. Dans les deux cas, aucun tuyau contenant du fluide frigorigène n'entre directement en contact avec l'espace occupé, et donc

une fuite de fluide frigorigène dans ces espaces occupés est hautement improbable.

Les conditions d'occupation d'un lieu correspondent à l'utilisation à laquelle les espaces sont destinés et au degré de connaissance des procédures de sécurité des personnes qui l'occupent. Sur cette base, les conditions d'occupation sont classées en quatre types :

Figure 12. Exemples de systèmes indirects



- Espaces publics (ouverts à tous) : 'catégorie a' - exemples : magasins, salles de spectacle ;
- Espaces privés (accès encadré) : 'catégorie b' - exemples ; locaux professionnels, bureaux ;
- Accès restreint (ouverts aux seuls personnels) : 'catégorie c' - exemples : les ateliers, les chambres froides, etc. ;
- Espaces inoccupés - exemples : les locaux techniques ou des espaces où seuls des personnels autorisés peuvent accéder.

Dans la mesure où le risque pour les personnes est plus grand dans les espaces aux conditions d'occupation de type a, où un nombre aléatoire de gens peuvent se trouver, et dont la plupart n'ont aucune idée de ce que sont les procédures de sécurité en cas d'urgence, les exigences sont plus draconiennes. Alors que pour des espaces dont l'accès est restreint, où se trouve seulement

(en principe) un petit nombre de personnes autorisées qui sont censées bien connaître les procédures d'urgence, les exigences sont moins sévères.

La figure 13 donne une illustration de ces concepts. Ici, les exigences « plus sévères » font référence aux obligations qui sont faites aux ingénieurs pour la conception et la construction d'un équipement de réfrigération. Parmi celles-ci, on compte :

- une limitation de la quantité de fluide autorisée dans un système,
- le nombre de dispositifs de sécurité (comme des soupapes de surpression, des pressostats et des limiteurs de température) à ajouter au système,
- l'utilisation d'éléments supplémentaires comme la détection de gaz et la ventilation mécanique.

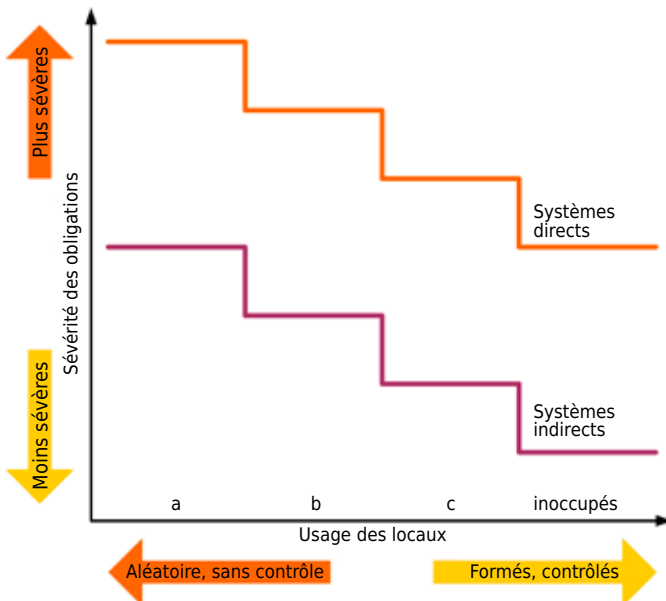


Figure 13. Représentation de la sévérité des exigences de sécurité en fonction des conditions d'occupation et du type de système frigorifique

# Règlementation, normes de sécurité et codes de bonne pratique<sup>9</sup>

En fonction du pays et des conditions, il existe un grand nombre de règlements, de normes de sécurité et de codes de pratique et de recommandations des fournisseurs pour encadrer l'utilisation de fluides réfrigérants inflammables, hautement toxiques ou fonctionnant à de hautes pressions, tout en préservant la sécurité. On trouvera dans la section « conseils de lecture » (p 63) une liste plus complète des diverses publications qui sont disponibles.

Les réglementations nationales ou régionales représentent l'autorité supérieure en ce qui concerne les points à prendre en compte pour l'exploitation, la conception et l'installation d'un équipement. Etant donné la diversité des règlements parmi les pays « article 5 », il n'est pas possible de tirer une généralisation à partir d'une réglementation particulière.

Cependant il y a des points qui sont couverts par la réglementation dans la plupart des régions, à savoir :

- Usage sécurisé de substances inflammables,
- Manipulation sécurisée de substances inflammables,
- Conception et utilisation sécurisées d'un équipement sous hautes pressions,
- Caractérisation et contrôles des substances qui posent des problèmes de sécurité liés à leur toxicité.

En général, ces réglementations offrent un cadre pour l'évaluation des dangers et la limitation des risques, ne donnant que des indications limitées sur les mesures concrètes à prendre, se contentant de l'exigence que la « sécurité soit assurée ». Ainsi formulées, elles permettent une adoption des nouvelles



<sup>9</sup> pour plus d'informations, voir : [http://www.unep.org/ozonaction/Portals/105/documents/Ozone\\_Day\\_2015/7739-f-StandardsBooklet2015.pdf](http://www.unep.org/ozonaction/Portals/105/documents/Ozone_Day_2015/7739-f-StandardsBooklet2015.pdf)

substances et leur application, ainsi que le développement des technologies appropriées. Dans la mesure où tous les fluides frigorigènes fonctionnent sous pression et ont plus ou moins des effets toxiques et beaucoup d'entre eux sont aussi inflammables, la plupart des règlements de tous types mentionnés plus haut sont incontournables.

Au niveau suivant, les normes de sécurité (et les codes de bonne pratique du secteur) sont conçues dans le but d'apporter une interprétation plus pratique des demandes de la réglementation. Parfois elles sont développées pour des

types d'application ou d'équipement spécifiques (on les appelle « normes verticales », alors que d'autres sont plus génériques (les « normes horizontales »). Les normes de sécurité sont écrites au niveau international (ex : ISO, CEI), régional (ex : EN en Europe) ou national. Il y a souvent des parallèles ou des alignements entre les normes portant sur un domaine similaire entre ces différents niveaux, bien que chaque pays puisse individuellement adopter pour ses exigences des termes différents de ceux de la norme internationale. Les normes internationales et régionales les plus importantes parmi celles qui régissent la conception et la

Secteur	IEC 60335-2-24 <sup>10</sup>	IEC 60335-2-40 <sup>11</sup>	IEC 60335-2-89 <sup>12</sup>	ISO 5149	ISO 13043 <sup>13</sup>	EN 378
Réfrigération domestique	x					
Froid commercial			x	x		x
Systèmes industriel				x		x
Transport frigorifique				x		x
Climatiseurs air-air		x		x		x
Chauffe-eau thermodynamique		x		x		x
Refroidisseurs (Chillers)		x		x		x
Climatisation embarquée					x	

Tableau n° 4. Champs d'application des différentes normes internationales ou régionales pour la sécurité des systèmes frigorifiques

construction des systèmes en fonction du choix du fluide frigorigène se trouvent dans le tableau n°4, accompagnées des secteurs d'application correspondants.

Dans toutes ces normes on retrouve quelques implications de base liées à l'usage de fluides frigorigènes inflammables, de plus grande toxicité et fonctionnant à de hautes pressions ; celles-ci sont présentées dans le tableau n°5. En principe, ces mesures sont prises pour contrebalancer les risques plus graves

encourus du fait des dangers potentiels inhérents aux réfrigérants alternatifs.

Les normes de sécurité sont essentiellement un ensemble de directives qui ont été élaborées et approuvées selon une sorte de processus consensuel par un groupe de personnes représentant la plupart du temps un petit nombre d'entreprises parties prenantes ; processus qui prend généralement plusieurs années. En conséquence, les exigences publiées ne reflètent pas nécessairement (et souvent

<sup>10</sup> CEI/IEC, 60335-2-24, Appareils électrodomestiques et analogues - Sécurité - Partie 2-24 : règles particulières pour les appareils de réfrigération, les sorbetières et les fabriques de glace

<sup>11</sup> CEI/IEC 60335-2-40, Appareils électrodomestiques et analogues - Sécurité - Partie 2-40 : règles particulières pour les pompes à chaleur électriques, les climatiseurs et les déshumidificateurs

<sup>12</sup> CEI/IEC 60335-2-89, Appareils électrodomestiques et analogues - Sécurité - Partie 2-89 : règles particulières pour les appareils de réfrigération à usage commercial avec une unité de condensation du fluide frigorigène ou un compresseur incorporés ou à distance

<sup>13</sup> ISO 13043, Véhicules routiers - Systèmes réfrigérants utilisés dans les systèmes d'air conditionné embarqués (MAC) - Exigences de sécurité



Haute inflammabilité	Haute toxicité	Hautes pressions
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des limites plus strictes quant à la quantité de fluide dans des espaces occupés</li> <li>• Utilisation d'un système de détection de gaz, d'une alarme et d'un système de ventilation d'urgence</li> <li>• Interdiction d'avoir une source potentielle d'ignition à proximité</li> <li>• Signalétique de danger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des limites plus strictes quant à la quantité de fluide dans des espaces occupés</li> <li>• Usage limité dans les zones à forte densité de population</li> <li>• Utilisation d'un système de détection de gaz, d'une alarme et d'un système de ventilation d'urgence</li> <li>• Prévoir des équipements de protection individuelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des matériaux plus épais/ des composant et de la tuyauterie pouvant résister à de plus hautes pressions</li> <li>• Montage dans le système de limiteurs de pression et/ou de dispositifs de décharge de pression</li> <li>• Des compétences plus élevées pour les ouvriers en charge de la fabrication des composants et de leur assemblage</li> </ul>

Tableau n° 5. Mesures principales à envisager pour l'utilisation de frigorigènes plus inflammables, plus toxiques ou fonctionnant à de plus hautes pressions

pas du tout) les dernières avancées de la technologie et peuvent aussi favoriser une technologie au détriment d'une autre, selon les préférences des entreprises qui participent au processus.

Les normes sont aussi en perpétuelle évolution et les directives et les exigences ont également tendance à changer au fil du temps. Malgré cela les normes sont rarement sans lacunes ou erreurs. Pour toutes ces raisons, les parties prenantes qui utilisent ces normes doivent être attentives au texte et à l'esprit de ces normes et, si nécessaire, faire diligence et prendre les mesures appropriées.

Souvent les institutions du secteur, comme les instituts techniques et les associations professionnelles publient

des codes de bonne pratique ou des directives techniques sur les questions de sécurité. En général, ces publications donnent une interprétation plus poussée des exigences des règlements et, dans une certaine mesure, des normes de sécurité. Elles sont particulièrement utiles quand les sources officielles contiennent des erreurs (qui peuvent prendre des années à corriger à cause des procédures bureaucratiques) ou des ambiguïtés qui nécessitent une interprétation explicite pour les gens de terrain. De plus, ces informations peuvent être adaptées aux conditions et aux pratiques locales et également proposer d'autres solutions techniques pour atteindre le niveau de sécurité requis par la réglementation locale, qui ne sont pas nécessairement présentées par les normes de sécurité.



# 4 | Considérations détaillées pour les frigorigènes



## Facteurs importants pour diverses tâches

Dans la mesure où les différents fluides frigorigènes de remplacement posent des problèmes de sécurité supplémentaires, il est essentiel qu'ils soient manipulés de façon différente à certains égards, ou de la même manière mais avec des précautions supplémentaires. Le tableau n° 6 présente une liste de quelques-uns de ces fluides frigorigènes en regard de leurs caractéristiques de sécurité respectives - comme la classification de sécurité, la pression de saturation, LII, STA et LP - et montre les différences fondamentales avec le HCFC-22.

Il est essentiel que ces "nouvelles" caractéristiques soient prises en considération tout au long de la durée d'utilisation du fluide frigorigène.

Selon le stade auquel l'équipement de réfrigération en est, un certain nombre de tâches peuvent être considérées comme particulièrement importantes lorsque l'on travaille avec certains des réfrigérants alternatifs. Le tableau n°7 présente en résumé quelques-unes des tâches les plus importantes qui doivent être planifiées et exécutées avec soin pour réduire au minimum les risques supplémentaires liés au passage à un fluide frigorigène inflammable, toxique ou fonctionnant à haute pression.

Certains aspects revêtent une importance particulière, comme l'évaluation des risques, les exigences en matière de conception des systèmes, l'étanchéité des systèmes<sup>14</sup>, les sujets à aborder pendant la formation et les outils et équipements utilisés habituellement par

les techniciens ; ces points sont développés plus en détails plus bas. Des normes comme la EN 13313<sup>15</sup> sont utiles pour identifier les critères de compétence pour la formation des personnels qui exécutent les différents types de tâche.

Tableau n° 6 : Données chiffrées concernant la sécurité pour une sélection de fluides frigorigènes<sup>16</sup>

Fluide frigorigène	Classement sécurité (ISO 817)	Pression de saturation à 25°C (bar, abs)	LII/LFL en % en volume dans l'air (et g/m <sup>3</sup> )	STA/ATEL en % en volume dans l'air (et g/m <sup>3</sup> )	LP/PL en % en volume dans l'air (et g/m <sup>3</sup> )
HCFC-22	A1	10,4	Néant	5,9% (209)	5,9% (209)
HFC-32	A2L	16,9	14,4% (306)	22% (468)	2,9% (61)
HCFC-123	B1	0,9	Néant	0,9% (57)	0,9% (57)
HFC-134a	A1	6,7	Néant	5,0% (210)	(250)
HFC-152a	A2	6,0	4,8% (130)	5,0% (140)	1,0% (27)
HC-290	A3	9,5	2,1% (38)	5% (90)	0,4% (8)
R-404A	A1	12,5	Néant	13,0% (520)	13,0% (520)
R-407C	A1	11,9	Néant	8,8% (310)	8,2% (290)
R-410A	A1	16,6	Néant	14,8% (440)	14,2% (420)
R-444A*	A2L	7,1	7% (290)	6% (270)	1,4% (60)
R-444B*	A2L	10,6	7% (180)	8% (200)	1,4% (40)
R-445A*	A2L	7,4	8% (340)	6% (250)	1,5% (70)
R-446A*	A2L	13,7	8% (180)	3% (60)	1,6% (40)
R-447A*	A2L	13,8	9% (220)	11% (260)	1,9% (50)
R-451A*	A2L	6,8	7% (320)	9% (420)	1,4% (60)
R-451B*	A2L	6,8	7% (320)	9% (410)	1,4% (60)
R454A*	A2L	9,3	8% (290)	12% (470)	1,5% (60)
R454B*	A2L	12,8	10% (300)	16% (470)	2,0% (60)
HC-600a	A3	3,5	1,8% (43)	2,9% (69)	0,4% (9)
R-717	B2L	10,0	16,7% (116)	0,03% (0,2)	0,03% (0,2)
R-744	A1	64,3	Néant	4,0% (72)	4,0% (72)
HFC-1234yf	A2L	6,8	6,2% (289)	10% (466)	1,2% (58)
HFC-1234ze(E)	A2L	5,0	6,5% (303)	5,9% (275)	1,3% (61)
HC-1270	A3	11,5	2,7% (46)	0,1% (2)	0,5% (9)

\* Pour ces nouveaux mélanges, les données ne sont pas encore disponibles, alors les valeurs (arrondies) sont données à titre approximatif

<sup>14</sup> Normes à connaître : EN 15834, Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur. – Qualification de l'étanchéité des composants et des joints

<sup>15</sup> EN 13313 : 2008 – Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur - Compétence du personnel

<sup>16</sup> cf. Annexe (page 64) pour les caractéristiques de sécurité de la plupart des fluides frigorigènes disponibles dans le commerce.

“Il est essentiel que les fluides frigorigènes alternatifs soient manipulés avec des précautions supplémentaires.”



Tableau 7. Considérations pour les tâches principales, pour les frigorigènes inflammables, hautement toxiques ou fonctionnant à de hautes pressions

Activité	Point importants à prendre en compte
Développement produit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etre conscient de la nécessité que les caractéristiques du système réduisent les risques liés à l'inflammabilité, la toxicité, les hautes pressions</li> <li>• Evaluer les risques liés à l'inflammabilité, la toxicité, les hautes pressions</li> <li>• Procéder à des tests de sécurité adéquats</li> </ul>
Conception	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suivre scrupuleusement les règlements, les normes (éviter les émissions de produits inflammables, les fuites, les sources d'ignition)</li> <li>• Obtenir une approbation extérieure</li> </ul>
Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stockage des frigorigènes, appareils de charge, dispositifs de détection des fuites, systèmes de sécurité de l'usine doivent être adaptés</li> <li>• Les pièces et composants doivent être disponibles (ex : équipement électrique de sécurité)</li> <li>• Les ouvriers doivent être correctement formés</li> </ul>
Stockage et distribution	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La compatibilité des véhicules de transport est correctement évaluée</li> <li>• La compatibilité des entrepôts est correctement évaluée</li> <li>• Les marquages / avertissements appropriés sont apposés sur les emballages</li> </ul>
Installation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les techniciens disposent des outils et de l'équipement adaptés pour la manipulation des fluides frigorigènes</li> <li>• Les techniciens doivent être correctement formés</li> <li>• Des méthodes et procédures de travail sont fournies et sont suivies.</li> </ul>
Mise en service	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les ingénieurs ont reçu une formation adéquate</li> <li>• L'étanchéité des circuits et leur résistance à la pression est vérifiée</li> <li>• Vérifier les systèmes de sécurité (détecteurs de gaz, ventilation d'urgence et alarmes)</li> </ul>
Exploitation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour les systèmes de grandes dimensions, les détecteurs de gaz, la ventilation d'urgence et les alarmes sont fonctionnels</li> <li>• Pour tous les systèmes, le développement, la conception et l'installation doivent être adéquates pour la sécurité intrinsèque.</li> </ul>
Entretien	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les techniciens doivent être correctement formés</li> <li>• Les techniciens disposent des outils et de l'équipement adaptés pour la manipulation des fluides frigorigènes</li> <li>• Des méthodes et procédures de travail sont fournies et sont suivies.</li> </ul>
Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les techniciens doivent être correctement formés</li> <li>• Les techniciens disposent des outils et de l'équipement adaptés pour la manipulation des fluides frigorigènes</li> <li>• Des méthodes et procédures de travail sont fournies et sont suivies.</li> </ul>
Démantèlement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les techniciens doivent être correctement formés</li> <li>• Les techniciens disposent des outils et de l'équipement adaptés pour la manipulation des fluides frigorigènes</li> <li>• Des méthodes et procédures de travail sont fournies et sont suivies.</li> <li>• Procédures de dégazage adéquates et sûres, s'il y a lieu</li> </ul>
Mise au rebut	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les installations d'élimination des déchets doivent être informées de la possible présence résiduelle de gaz inflammable</li> <li>• Les marquages et avertissements appropriés doivent être apposés sur les emballages</li> </ul>

# Questions de sécurité liées aux fluides frigorigènes inflammables

Il existe un certain nombre de fluides frigorigènes inflammables – certains sont anciens, d'autres ont été développés récemment. Le tableau 6 (page 35) donne quelques-unes des caractéristiques de base des fluides frigorigènes inflammables couramment utilisés et d'autres qui sont à l'étude, dans l'attente de leur commercialisation. Bien que les fluides frigorigènes inflammables soient relativement nombreux, leur inflammabilité varie sur un large éventail. On peut voir que certaines substances ont une LII (Limite inférieure d'inflammabilité) relati-

vement basse (ex : le HC-290, avec 38 g/m<sup>3</sup>), alors que d'autres ont une LII considérablement plus élevée (ex : Le HFC-1234yf avec 289 g/m<sup>3</sup>). Il y a d'autres caractéristiques d'inflammabilité, telle que l'énergie minimale d'inflammation, la chaleur de combustion et la vitesse de flamme qui ont un impact sur la capacité qu'ont ces substances à prendre feu et sur la gravité des conséquences de cette inflammation ; elles sont toutes plus ou moins proportionnelles à la LII.

## *Evaluation générale des risques*

Avec tous les fluides réfrigérants inflammables, le risque vient de la possibilité de mise à feu d'une concentration inflammable.

L'embrassement est causé par une source d'ignition non protégée – ce peut être une étincelle électrique, une flamme nue, une surface très chaude ou une autre source d'énergie capable de créer une température suffisante.

L'ignition se produit là où il y a eu une fuite de fluide qui s'est mélangé à l'air dans les proportions voulues, c'est-à-dire entre la limite inférieure et la limite supérieure d'inflammabilité. En fonction de l'architecture de l'équipement, cette ignition peut prendre place à l'intérieur de l'espace réfrigéré, dans logement de l'équipement, dans d'autres espaces où se trouvent des tuyaux ou des élé-

ments du système, ou à l'air libre. Les conséquences initiales peuvent comprendre une augmentation de pression (« surpression »), des radiations thermiques et la formation de produits de décomposition toxiques (ex : pour les HFC inflammables). Selon les circonstances et la configuration des lieux, il peut en résulter des dommages pour les biens et les personnes, le déclenchement d'un incendie secondaire et des effets toxiques de la décomposition des substances sur les personnes. La figure 14 montre les différentes étapes à suivre pour effectuer une évaluation des risques d'inflammabilité. A noter qu'il n'est pas suffisant de seulement évaluer les risques, mais il faut aussi identifier et mettre en œuvre des mesures d'atténuation des risques pour minimiser les possibles conséquences d'un événement malencontreux.

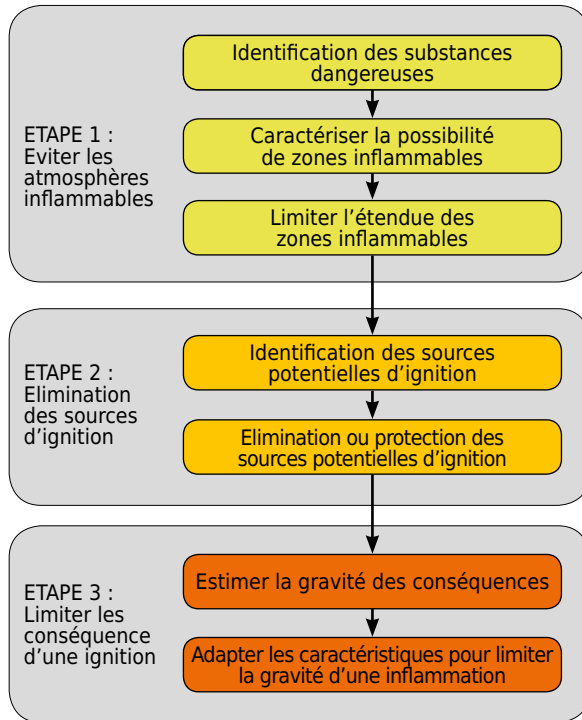


Figure 14. Les étapes de l'évaluation des risques liés à l'inflammabilité

## Exigences en matière de conception des systèmes frigorifiques

Pour les fluides frigorigènes inflammables, les exigences en matière de conception – qui dépassent largement tout de ce qui peut être exigé pour les fluides frigorigènes ordinaires – se trouvent dans la réglementation, dans les normes et dans les codes de bonne pratique de la profession. Les questions principales traitées dans ces textes de références sont :

- Limiter la quantité de fluide frigorigène à une quantité qui a peu de chance de s'enflammer (limites de charge de fluide) ;
- Concevoir le système et ses composants en fonction d'une charge de fluide plus faible ;
- Ne pas installer un équipement dans des locaux vulnérables (où il y a trop de sources potentielles d'ignition) ;
- S'assurer du haut niveau d'étanchéité du système pour éviter les fuites ;
- Construire un système de sorte qu'il ne comporte pas de sources d'ignition potentielle en cas de fuite de fluide (ex : pas de composants électriques susceptibles de provoquer des étincelles là où du fluide qui s'échappe pourrait s'accumuler) ;
- Utiliser plus fréquemment le détecteur de gaz et le système de ventilation, pour favoriser la dispersion de fluide qui aurait fui ;



- Equiper les parties accessibles du système des dispositifs d'avertissement pour que les techniciens soient dûment avertis des dangers auxquels ils peuvent être exposés (ex : des étiquettes « gaz inflammable » près des points de charge) ;
- Inclure les informations nécessaires sur les dangers de l'inflammabilité dans les documents relatifs à l'installation et à l'exploitation.

Dans le tableau n° 8 on trouvera quelques exemples de limite de taille de la charge dans une sélection de cas pour différents frigorigènes inflammables (à noter que les différentes normes et instructions imposent souvent des limites différentes). On peut voir que les fluides frigorigènes à la LII plus élevée permettent des quantités plus importantes (par circuit frigorifique) que ceux qui ont une LII plus basse. Dans les cas où une quantité plus importante de fluide est souhaitée, des équipements de sécurité supplémentaires peuvent être ajoutés au système pour que la quantité de fluide

qui serait rejetée ou la concentration résultant d'une fuite puissent être limitées. Par exemple, l'utilisation de vannes d'arrêt commandées par des détecteurs de gaz ou par les paramètres d'exploitation, qui empêcheraient la totalité du fluide de s'échapper.

De même, des détecteurs de gaz et les paramètres peuvent être utilisés pour déclencher un flux d'air pour diluer le fluide frigorigène en cas de fuite afin que la concentration n'atteigne pas la LII. Les systèmes de grandes dimensions peuvent aussi être scindés en de multiples systèmes plus petits, chacun avec une charge plus petite. En adoptant de telles mesures, ces fluides frigorigènes inflammables peuvent être appliqués dans des cas beaucoup plus nombreux. Pour des systèmes installés à l'extérieur à l'air libre ou dans un local technique, il n'y a normalement pas de limitations de cet ordre. Des normes comme la norme européenne EN 1127-1<sup>17</sup> peuvent s'avérer utiles pendant la phase de conception de systèmes de réfrigération utilisant des fluides frigorigènes inflammables.

## *Points-clés pour la formation*

Comme il a été dit plus haut, une formation adéquate est indispensable pour tous ceux qui prennent part à chacun des stades de la vie d'un équipement ; pour les ouvriers d'usine, les ingénieurs concepteurs et les techniciens de terrain, la formation à un certain nombre de sujets est généralement nécessaire (en plus de ceux qui portent sur la sécurité liée aux fluides frigorigènes en général). Le tableau n°9 propose une liste indicative des sujets d'ordre général

qui sont normalement indispensables pour les personnes qui prennent part à l'exploitation et à la manipulation des fluides frigorigènes inflammables. D'une manière générale, les principes de base sont indispensables pour tous, alors que les autres sujets peuvent s'adresser plutôt à ceux qui prennent part au développement et à la conception des systèmes, ou à la manipulation des fluides frigorigènes pendant l'installation, l'entretien ou la maintenance, etc.

<sup>17</sup> EN 1127-1 – Atmosphères explosives - Prévention de l'explosion et protection contre l'explosion - Partie 1 : notions fondamentales et méthodologie



Tableau n° 8. Exemples de pressions de test et de limites de charge pour une sélection de fluides frigorigènes et de types d'usage des locaux – norme ISO 5149

Classification du frigorigène	Fluide frigorigène	Pression de test <sup>a</sup> (bar, abs)	Charge autorisée dans un espace occupé de 15 m <sup>2</sup> (confort) <sup>b</sup> (kg)	Charge autorisée pour un espace occupé de 15 m <sup>2</sup> (général) <sup>c</sup> (kg)	Charge maxi dans un espace occupé (type d'usage A/B) (kg)	Charge maxi pour une unité extérieure ou un local technique	Charge maxi pour un local ventilé (kg)
A1	HCFC-22	32	11,3	11,3	PL×RV <sup>d</sup>	non limité	LP×VP <sup>d</sup>
	HFC-134a	22	9,4	9,4			
	R-404A	38	19,5	19,5			
	R-407C	36	11,6	11,6			
	R-410A	50	16,5	16,5			
	R-744	129 <sup>f</sup>	3,8	3,8			
A2L	HFC-32	51	1,3 – 4,9	2,3	12 (60°)	non limité	60
	R-444A	22	1,2 – 4,6	2,2	11 (57°)		57
	R-444B	32	0,7 – 2,5	1,4	7 (36°)		36
	R-445A	22	1,5 – 5,5	2,5	13 (66°)		66
	R-446A	41	0,7 – 2,2	1,4	7 (35°)		35
	R-447A	42	0,9 – 3,3	1,7	9 (43°)		43
	R-451A	21	1,4 – 5,1	2,4	12 (62°)		62
	R-451B	21	1,4 – 5,1	2,4	12 (62°)		62
	R-454A	29	1,2 – 4,6	2,2	11 (57°)		57
	R-454B	39	1,3 – 4,7	2,2	12 (58°)		58
	HFC-1234yf	21	1,2 – 4,5	2,2	11 (56°)		56
HFC-1234ze(E)	17	1,3-4,8	2,3	12 (59°)	59		
A2	HFC-152a	20	0,5 – 1,7	1,0	3,4	non limité	17
A3 <sup>g</sup>	HC-290	28	0,1 – 0,4	0,3	1,5 / 2,5	non limité	4,9
	HC-600a	11	0,1 – 0,4	0,3	1,5 / 2,5		5,6
	HC-1270	33	0,1 – 0,4	0,3	1,5 / 2,5		6,0
B1	HCFC-123	4	2,1	2,1	PL×RV	non limité	LP×VP
B2L	R-717	34	0,01	0,01	4,5	non limité	23

LP = Limite pratique ; VP = Volume de la pièce

a En supposant une température ambiante de 46°C, une différence de température au condenseur de 10 K, test individuel (1,43 fois la pression maximum du condenseur)

b En fonction des conditions d'installation

c Dans une pièce de 2,50m de plafond

d Pour des systèmes avec plusieurs échangeurs de température intérieurs, une charge plus élevée peut être autorisée selon les circonstances

e Pour des systèmes avec plusieurs échangeurs de température intérieurs

f Dans des conditions supercritiques (dans un processus transcritique), pression basée sur une pression nominale de 90 bar pour le refroidisseur de gaz

g Les fluides frigorigènes HC ont une densité bien plus faible, donc une capacité de réfrigération 2 à 3 fois plus grande peut être obtenue avec la même charge de fluide

Note : Charge autorisée et charge maximale par circuit individuel et il n'y a pas de limite au nombre de circuits distincts dans une pièce

Note : Les valeurs indiquées dans ce tableau sont indicatives. Pour déterminer la taille maximum de la charge de fluide frigorigène pour tel ou tel type de système et tel ou tel type d'installation dans tel ou tel type de lieu, il faut utiliser les normes. Ne pas utiliser les chiffres de ce tableau en remplacement des normes.

Tableau n° 9. Points-clés pour la formation (liste non exhaustive)

Sujets	Inflammable	Haute toxicité	Haute pression
<b>Principes de base</b>			
• Comment effectuer une évaluation des risques liés à l'inflammabilité pour des systèmes et des installations	X		
• Comment effectuer une évaluation des risques liés à la toxicité pour des systèmes et des installations		X	
• Comment effectuer une évaluation des risques liés aux hautes pressions pour des systèmes et des installations			X
• Connaissance des fiches de données de sécurité (FDS)	X	X	X
• Caractéristiques d'inflammabilité ("triangle du feu", LII, énergie d'ignition, chaleur de combustion, etc.)	X		
• Caractéristiques de toxicité (à court terme, à long terme, effets physiologiques, etc.)		X	
• Les normes de sécurité et les règlements dont relèvent les équipements utilisant des fluides frigorigènes inflammables, de haute toxicité ou nécessitant des pressions élevées	X	X	X
• Les différences de densité de ces fluides frigorigènes par rapport aux fluides frigorigènes ordinaires et les implications en termes de taille de la charge et de remplissage des bouteilles	X		
• Les différences de pression d'utilisation de ces frigorigènes par rapport aux fluides ordinaires et les implications sur la conception des systèmes en termes de pression nominale et de taille et sur le type de bouteille utilisable			X
• Le comportement d'une fuite de fluide frigorigène dans différentes circonstances, c.-à-d. le flux d'un gaz plus dense (ou plus léger) que l'air dans des pièces closes, des lieux clos, à l'extérieur avec ou sans vent, et les effets de la ventilation	X	X	
<b>Conception et fabrication des systèmes</b>			
• Classification selon les normes de sécurité de la réfrigération - inflammabilité, toxicité, usage des locaux, configuration des lieux, types de système	X	X	X
• Exigences des normes de sécurité - détermination de la limite de charge (ou de la taille minimum des pièces), le besoin de dispositifs de sécurité (comme des limiteurs de pression, des soupapes de sécurité, etc.) détection de gaz, ventilation, etc.	X	X	X
• Sources d'ignition ; types de sources d'ignition, énergie de l'arc électrique, effets de la température, etc.	X		
• Nécessité et types de protection appropriés pour des sources potentielles d'ignition	X		
• Importance de la minimisation des fuites et méthodes à utiliser pour éviter les fuites	X	X	X
• Moyens d'information nécessaires, comme le marquage, l'étiquetage et les panneaux	X	X	X

Tableau n° 9. Points-clés pour la formation (liste non exhaustive)

Sujets	Inflammable	Haute toxicité	Haute pression
<b>Méthodes de travail</b>			
• Comment procéder à une évaluation des risques pour la création et le maintien d'une zone de travail sûre et procéder à une intervention sur un système contenant des fluides frigorigènes inflammables	X		
• Comment procéder à une évaluation des risques pour la création et le maintien d'une zone de travail sûre et procéder à une intervention sur un système contenant des fluides frigorigènes hautement toxiques		X	
• Comment procéder à une évaluation des risques pour la création et le maintien d'une zone de travail sûre et procéder à une intervention sur un système contenant des fluides frigorigènes sous haute pression			X
• Choix et utilisation des outils et de l'équipement appropriés et de l'équipement individuel de protection (EIP) pour la manipulation de fluide frigorigène inflammable, toxique ou sous haute pression.	X	X	X
• Utilisation appropriée d'un extincteur	X		
• Procédures standard pour la charge, la récupération, le tirage au vide, le dégazage, etc., dans le respect de la sécurité	X	X	X
• Procédures d'intervention d'urgence, comme dans le cas d'une émission massive ou d'un incendie, ou faire les gestes de premiers secours	X	X	X
• Fourniture des informations utiles pour les plaques signalétiques, la documentation de l'équipement et pour le propriétaire ou l'exploitant	X	X	
• Choix du composant de remplacement équivalent approprié pour les dispositifs électriques, les boîtiers isolants électriques, les compresseurs, etc., et maintenir l'intégrité des boîtiers électrique étanches	X		
• Présence ou absence de marqueurs odorants	X		
• Restrictions à la réimplantation de systèmes ou équipements existants	X	X	X

## Outils et équipements pour l'entretien

Pour les techniciens et les ingénieurs qui travaillent directement au contact de fluides frigorigènes inflammables, il est essentiel que les travailleurs disposent des outils et de l'équipement appropriés, et les utilisent. Alors que certains outils

et équipements peuvent être utilisés indifféremment avec la plupart des fluides frigorigènes, d'autres peuvent compromettre la sécurité. Les outils et équipements appropriés sont présentés dans le tableau n°10



© cm-green



© RDA-eng.com

Figure 15. Machines de récupération de fluide frigorigène pour HC (à gauche) et pour tout fluide inflammable sauf le R-717 (à droite)



© RDA-eng.com

Figure 16. Ventilateur mécanique à 4 pales utilisé pour ventiler la zone de travail lors de la manipulation de frigorigènes inflammables



© Mastercool

Figure 17. Manifold à manomètres électroniques utilisable avec des frigorigènes inflammables, le R-717 et des frigorigènes à haute pression (jusqu'à 50 bar)



Figure 18. Panonceau avertisseur de gaz inflammable qui doit être apposé sur les bouteilles de récupération de fluide frigorigène inflammable



© Bacharach Inc

Figure 18. Panonceau avertisseur de gaz inflammable qui doit être apposé sur les bouteilles de récupération de fluide frigorigène inflammable

Tableau n° 10. Recommandations pour les outils et l'équipement à utiliser avec les fluides frigorigènes inflammables

Item	Remarques
DéTECTEURS de gaz	Doit être électronique et conçu pour une utilisation avec des gaz et des fluides inflammables (figure 19).
Balance pour peser le fluide frigorigène	Si elle est électronique, elle doit être conçue pour une utilisation dans un environnement où un fluide inflammable peut être présent (vérifier auprès du fabricant)
Jeu de Manifold/manomètres/flexibles	Le matériel doit être compatible, être capable de supporter la pression maximum et, s'il est électronique, être conçu pour une utilisation dans un environnement où un fluide inflammable peut être présent (figure 17).
Vacuomètre	S'il est électronique, doit être conçu pour une utilisation dans un environnement où un fluide inflammable peut être présent (vérifier auprès du fabricant)
Pompe à vide	Doit être adaptée à une utilisation avec des gaz inflammables (moteur électrique sans charbons) ou installé de telle manière qu'elle puisse être allumée ou éteinte dans un lieu où le fluide inflammable ne peut pas accéder.
Adaptateurs de bouteilles de fluide	S'assurer que le bon type d'adaptateur de bouteille est en place pour procéder en toute sécurité au transfert du fluide contenu dans la bouteille
Bouteille de récupération	Doit être capable de supporter la pression maximum du fluide frigorigène utilisé et porter les étiquettes d'avertissement de fluide inflammable appropriées. Les recommandations pour la manipulation doivent également être suivies scrupuleusement (Figure 19)
Machine de récupération de fluide frigorigène	Doit être adaptée aux caractéristiques du fluide frigorigène envisagé et être conçue pour les fluides inflammables (figure 15)
Tuyau de dégazage	En raison du faible impact sur l'environnement de l'émission directe de certains fluides inflammables, et en particulier des hydrocarbures, le dégazage est parfois pratiqué plutôt que la récupération (en général pour des charges de fluide faible) ; dans ce cas, un tuyau de dégazage d'une longueur suffisante pour permettre un dégazage directement dans un lieu sans danger à l'extérieur doit être monté.
Ventilation mécanique	Lorsqu'on travaille avec des charges de fluide frigorigène élevées, il peut s'avérer bénéfique d'utiliser un système de ventilation mécanique pour diluer toute quantité de fluide qui aurait été accidentellement relâchée.
Equipement de protection individuelle (EPI)	Normalement, des équipements standards comme des lunettes et des gants, ainsi qu'un extincteur sont nécessaires (Figure 29, Figure 30)

# Questions de sécurité liées aux fluides frigorigènes hautement toxiques

Comme on peut le voir dans le tableau n°6, il y a essentiellement un fluide frigorigène hautement toxique, l'ammoniac (R-717), et en tant que tel, c'est le seul fluide frigorigène évoqué dans ce chapitre. Le tableau présente quelques-

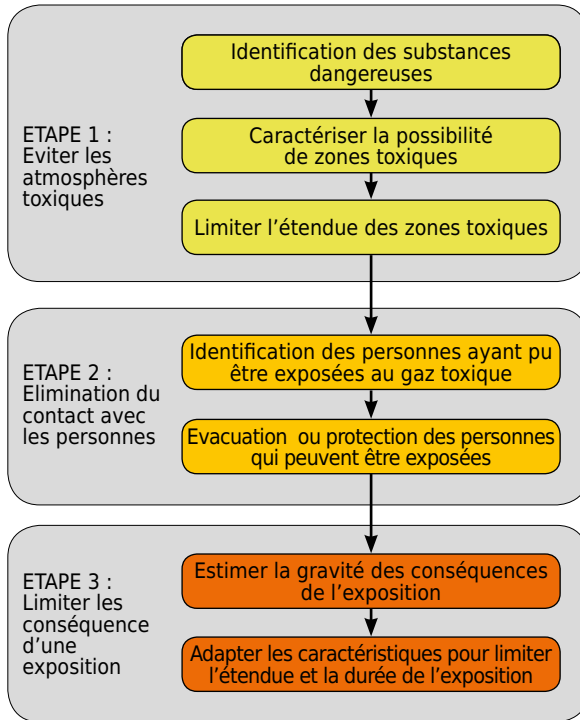
unes des caractéristiques de base concernant la sécurité, qui montrent que c'est un produit inflammable, autant que toxique. Un autre point important à prendre en compte avec le R-717 est qu'il est corrosif et hydrophile

## *Evaluation générale des risques*

Avec les frigorigènes à haute toxicité, et particulièrement avec le R-717, le premier danger est l'inhalation de fluide par des personnes en cas de fuite. D'autres dangers, moins fréquents, sont le contact direct avec du fluide avec la peau et le possible embrasement d'une concentration inflammable. Une exposition excessive à une concentration toxique peut se produire suite à une émission accidentelle de fluide réfrigérant dans un lieu clos - ou même dans un lieu ouvert si la quantité relâchée est suffisante - et que les occupants ne sont pas en immédiate possession d'un équipement de protection individuelle (EPI). Avec le R-717 en particulier, des effets nocifs peuvent se produire même avec des concentrations très basses (de l'ordre de quelques dizaines ou centaines de parties par million dans l'air).

Parmi les conséquences possibles de l'inhalation on compte une irritation des yeux et du nez avec un mal de gorge, de la toux, une oppression au niveau de la poitrine, une inflammation, les yeux qui coulent, la photophobie, un mal de tête, un état de confusion et finalement la mort. Un contact direct avec la peau peut provoquer des brûlures profondes, alors que l'inhalation peut provoquer des brûlures de la bouche et de la gorge. La figure 20 montre les différentes étapes de l'évaluation des risques pour les substances hautement toxiques. A noter qu'il ne suffit pas d'évaluer les risques, mais qu'il faut identifier et prendre des mesures d'atténuation des risques pour éviter ou réduire autant que possible la probabilité et les conséquences d'un événement malheureux.

Figure 20. Etapes de l'évaluation des risques liés à la toxicité



## Exigences en matière de conception des systèmes de réfrigération

Pour les fluides frigorigènes toxiques, les exigences en matière de conception – qui dépassent largement tout de ce qui peut être exigé pour les fluides frigorigènes ordinaires – se trouvent dans la réglementation, dans les normes et dans les codes de bonne pratique de la profession. Les questions principales traitées dans ces textes de références sont :

- Limiter la quantité de fluide frigorigène à une quantité qui a peu de chance de poser des problèmes de sécurité liés à la toxicité (limites de charge de fluide) ;
- Concevoir le système et ses composants en fonction d'une charge de fluide plus faible ;
- Ne pas installer un équipement dans des locaux vulnérables (où il y a des groupes importants de personnes sans contrôle) ;
- S'assurer du haut niveau d'étanchéité du système pour éviter les fuites ;
- Utiliser plus fréquemment le détecteur de gaz et le système de ventilation, pour favoriser la dispersion de fluide qui aurait fui ;

- Equiper les parties accessibles du système des dispositifs d'avertissement pour que les techniciens soient dûment avertis des dangers auxquels ils peuvent être exposés (ex : des étiquettes « gaz toxique » près des points de charge) ;
- Avoir des équipements de protection individuelle (EPI) comme des masques à gaz, des combinaisons et des douches ;
- Inclure les informations nécessaires sur les dangers de la toxicité dans les documents relatifs à l'installation et à l'exploitation.

Dans le tableau n° 8 (page 41) on trouvera quelques exemples de limite de taille de la charge dans une sélection de cas pour le R-717 (à noter que les diffé-

rentes normes et instructions imposent souvent des limites différentes) et le HCFC-123. On peut voir que, avec le R-717, à cause de son seuil toxicité aigüe (STA) très bas, les quantités de fluide frigorigène autorisées (par circuit frigorigène) sont extrêmement faibles. En fonction du type d'usage des locaux, de la configuration des lieux et du type de système, des quantités plus importantes de fluide peuvent être autorisées et, de plus, des équipements de sécurité supplémentaires peuvent être ajoutés aux plans pour que la quantité de fluide qui serait rejetée ou la concentration résultant d'une fuite puissent être limitées. Pour des systèmes installés à l'extérieur à l'air libre ou dans un local technique, il n'y a normalement pas de limitations de cet ordre.

## *Points-clés pour la formation*

Comme il a été dit plus haut, une formation adéquate est indispensable pour tous ceux qui prennent part à chacun des stades de la vie d'un équipement ; pour les ouvriers d'usine, les ingénieurs concepteurs et les techniciens de terrain, la formation à un certain nombre de sujets est généralement nécessaire (en plus de ceux qui portent sur la sécurité liée aux fluides frigorigènes en général). Le tableau n°9 (page 42) propose une liste indicative des sujets d'ordre général

qui sont normalement indispensables pour les personnes qui prennent part à l'exploitation et à la manipulation des fluides frigorigènes toxiques. D'une manière générale, les principes de base sont indispensables pour tous, alors que les autres sujets peuvent s'adresser plutôt à ceux qui prennent part au développement et à la conception des systèmes, ou à la manipulation des fluides frigorigènes pendant l'installation, l'entretien ou la maintenance, etc.

## *Outils et équipements pour l'entretien*

Pour les techniciens et les ingénieurs qui travaillent directement au contact de fluides frigorigènes toxiques, il est essentiel que les travailleurs disposent des outils et de l'équipement appropriés, et les utilisent. Alors que certains outils

et équipements peuvent être utilisés indifféremment avec la plupart des fluides frigorigènes, d'autres peuvent compromettre la sécurité. Les outils et équipements appropriés sont présentés dans le tableau n°11.





© testolimited.com

Figure 21. Détecteur de gaz pour l'ammoniac (R-717)



© Howe Corporation - Chicago, Illinois USA

Figure 22. Pompe de récupération pour le R-717



© Rolf Hühnen

Figure 23. Exemple d'équipement respiratoire



© Rolf Hühnen

Figure 24. Exemple de combinaison de protection pour le R-717

Tableau 11. Points à prendre en compte concernant l'outillage et l'équipement à utiliser avec l'ammoniac (R-717)

Item	Remarques
Détecteurs de gaz	Doit être électronique si utilisation avec R-717 (figure 21)
Jeu de Manifold/manomètres/flexibles	Le matériel doit être compatible avec le R-717, être capable de supporter la pression maximum et, s'il est électronique, être adapté aux caractéristiques du R-717 (figure 17).
Vacuomètre	Le matériel doit être compatible avec le R-717.
Pompe à vide	Doit être adaptée aux caractéristiques du R-717
Adaptateurs de bouteilles de fluide	S'assurer que le bon type d'adaptateur de bouteille est en place pour procéder en toute sécurité au transfert du fluide contenu dans la bouteille
Bouteille de récupération	Doit être capable de supporter la pression maximum de R-717, porter les étiquettes d'avertissement appropriées et être faite d'un matériau compatible avec le R-717. Les recommandations pour la manipulation doivent également être suivies scrupuleusement (figure 28, figure 31)
Machine de récupération de fluide frigorigène	Doit être adaptée aux caractéristiques du R-717 (figure 22)
Equipement de protection individuelle (EPI)	En plus de l'EPI normal, en fonction de la quantité de fluide frigorigène concernée, un équipement respiratoire (du type autonome à cartouche) devra être fourni. De plus, une combinaison protectrice imperméable au R-717, comprenant un masque avec une visière transparente, des lunettes étanches, des gants de protection thermique à manchette, une capuche et des bottes en caoutchouc devront être fournis (figure 23, figure 24). Prévoir également une douche ou un bain de sécurité avec lave-yeux.

# Questions de sécurité liées aux fluides frigorigènes fonctionnant à de hautes pressions

Comme on peut le voir dans le tableau n° 6 (page 35), bien qu'il y ait plusieurs fluides frigorigènes fonctionnant à des pressions plus élevées que le HCFC-22, la plupart d'entre eux ne dépassent pas une zone de pression plus haute de 50%. Il existe cependant un réfrigérant alternatif, le dioxyde de carbone (R-744), qui a des pressions de fonctionnement

considérablement plus grandes – de l'ordre de six fois ; ce qui a des implications, qui font l'objet de cette discussion. Pour quelques autres, comme le R-410A et le HFC-32, la pression est notablement plus élevée que celle à laquelle les gens sont habitués avec l'utilisation du HCFC-22, alors être attentif aux questions de pression reste important.

## *Evaluation générale des risques*

Avec tous les frigorigènes qui fonctionnent sous pression (c.-à-d. au-dessus d'une pression absolue de 1,01 bar), il y a toujours un risque de rapide dégauchement de pression dû à l'ouverture accidentelle d'une vanne ou à la rupture d'éléments pressurisés. Une émission de cette sorte peut provoquer des dommages physiques aux personnes directement du fait de l'onde de pression qui en résulte, ou, le plus souvent, indirectement par l'impact de projectiles. Les fluides frigorigènes qui fonctionnent sous des pressions élevées ont potentiellement la capacité de provoquer des conséquences plus graves (toutes choses égales par ailleurs). La figure 25 montre les étapes fondamentales de l'évaluation des risques pour les substances qui fonctionnent sous pression. En principe, la procédure générale avec tous les fluides frigorigènes consiste

à déterminer avec certitude le niveau maximal de pression qui peut être atteint en fonctionnement dans l'équipement – ou dans les différentes parties de l'équipement – et concevoir la tuyauterie et les composants pour supporter cette pression (avec les marges de sécurité). Les conditions d'exploitation imprévues qui pourraient faire s'élever la pression au-delà de ces valeurs doivent être gérées à l'aide de dispositifs de sécurité, en mesure de stopper l'exploitation ou de réduire la pression de manière sécurisée. Ainsi, après avoir évalué les risques, les mesures d'atténuation des risques sont identifiées et appliquées pour éviter ou réduire les conséquences d'un événement malheureux. En général, pour les fluides frigorigènes sous hautes pressions, des mesures de limitation des risques plus exhaustives sont nécessaires.

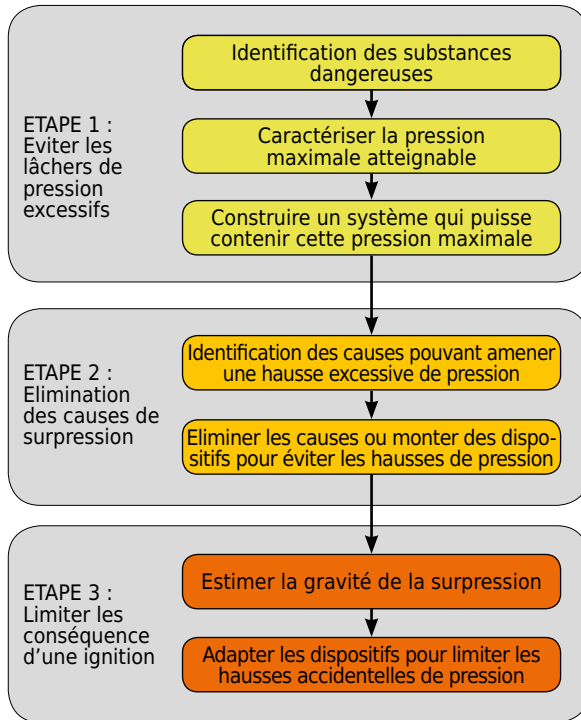


Figure 25. Etapes de l'évaluation des risques liés aux hautes pressions

## Exigences pour la conception de systèmes de réfrigération

Pour les fluides frigorigènes sous hautes pressions, les exigences en matière de conception – qui dépassent largement tout de ce qui peut être exigé pour les fluides frigorigènes ordinaires – se trouvent dans la réglementation, dans les normes et dans les codes de bonne pratique de la profession. Les questions principales traitées dans ces textes de références sont :

- S'assurer du haut niveau d'étanchéité du système pour éviter les fuites
- Concevoir les composants et la tuyauterie pour supporter des pressions beaucoup plus élevées que la normale
- Monter des dispositifs de protection contre la surpression correctement choisis (comme des pressostats, des soupapes de surpression)
- Equiper les parties accessibles du système des dispositifs d'avertissement pour que les techniciens soient dûment avertis des dangers auxquels ils peuvent être exposés (ex : des étiquettes « gaz sous pression » sur l'équipement).
- Inclure les informations nécessaires sur les dangers de la pression dans les documents relatifs à l'installation et à l'exploitation

## Points-clés pour la formation

Comme il a été dit plus haut, une formation adéquate est indispensable pour tous ceux qui prennent part à chacun des stades de la vie d'un équipement ; pour les ouvriers d'usine, les ingénieurs concepteurs et les techniciens de terrain, la formation à un certain nombre de sujets est généralement nécessaire (en plus de ceux qui portent sur la sécurité liée aux fluides frigorigènes en général). Le tableau n°9 (page 42) propose une liste indicative des sujets d'ordre général

qui sont normalement indispensables pour les personnes qui prennent part à l'exploitation et à la manipulation des fluides frigorigènes sous hautes pressions. D'une manière générale, les principes de base sont indispensables pour tous, alors que les autres sujets peuvent s'adresser plutôt à ceux qui prennent part au développement et à la conception des systèmes, ou à la manipulation des fluides frigorigènes pendant l'installation, l'entretien ou la maintenance, etc.

## Outils et équipements pour l'entretien

Pour les techniciens et les ingénieurs qui travaillent directement au contact de fluides frigorigènes sous pressions élevées, il est essentiel que les travailleurs disposent des outils et de l'équipement appropriés, et les utilisent. Alors que

certains outils et équipements peuvent être utilisés indifféremment avec la plupart des fluides frigorigènes, d'autres peuvent compromettre la sécurité. Les outils et équipements appropriés sont présentés dans le tableau n°12



Figure 26. Détecteur de gaz pour dioxyde de carbone (R-744)

© INFICON



Figure 27. Manifold pour R-744 (jusqu'à 160 bar)



Figure 28. Bouteille de récupération de fluide réfrigérant



Figure 29. Equipement de protection de base : lunettes et gants

Item	Remarques
Détecteurs de gaz	Doit être électronique et adapté à une utilisation avec le fluide frigorigène envisagé (figure 26).
Jeu de Manifold/ manomètres/flexibles	Le matériel doit être capable de supporter la pression maximum ; il n'existe pas encore de modèle électronique adapté aux hautes pressions (figure 27)
Adaptateurs de bouteilles de fluide	S'assurer que le bon type d'adaptateur de bouteille est en place pour procéder en toute sécurité au transfert du fluide contenu dans la bouteille
Bouteille de récupération	Doit être capable de supporter la pression maximum du fluide frigorigène utilisé et porter les étiquettes d'avertissement de haute pression appropriées (voir aussi tableau 10). Les recommandations de manipulation doivent également être suivies scrupuleusement (Figure 28, Figure 31)
Tuyau de dégazage	En raison du faible impact sur l'environnement de l'émission directe du R-744, le dégazage est souvent pratiqué plutôt que la récupération ; dans ce cas, un tuyau de dégazage d'une longueur suffisante pour permettre un dégazage directement dans un lieu sans danger à l'extérieur doit être monté
Machine de récupération de fluide frigorigène	Doit être adaptée aux caractéristiques du fluide frigorigène envisagé et être conçue pour supporter les hautes pressions de fluide
Équipement de protection individuelle (EPI)	Normalement, des équipements standards comme des lunettes et des gants sont nécessaires (figure 29)

Tableau n°12. Recommandations pour les outils et l'équipement pour travailler avec des frigorigènes à haute pression



Figure 30. Extincteur



Figure 31. Signaux/panneaux / étiquettes de danger

# 5 | Protocole de Montréal, réfrigérants alternatifs et problèmes de sécurité : Méthodologies



## Encourager les alternatives non nocives pour le climat

En 2007 lorsque les parties signataires du Protocole de Montréal se sont accordées sur une élimination des HCFC, leur décision n'a pas été prise en ne considérant que l'aspect de l'appauvrissement de la couche d'ozone, isolément d'autres questions environnementales. Cette décision (Protocole de Montréal, Réunion des Parties, décision XIX/6) tout en fixant les dates limites et les étapes de l'élimination pour les pays article 5 et les pays non-article 5, avait aussi une vision plus large et des recommandations à faire. Elle encourage les Parties à « promouvoir les solutions de remplacement des hydrochlorofluorocarbones afin de réduire l'impact de ces substances sur l'environnement, en particulier sur le climat, tout en satisfaisant d'autres considérations, de santé, de sécurité et économiques ». En pratique, en cherchant à se doter de fluides frigorigènes à faible PRG, une attention

particulière doit être portée aux questions de sécurité qui y sont liées, et à la manière de les aborder.

En 2013, le secrétariat du Fonds multilatéral a publié un document de réflexion sur la minimisation des répercussions néfastes sur le climat de l'élimination des HCFC dans le secteur de la maintenance de l'équipement de réfrigération (<http://www.multilateralfund.org/72/French/1/F7242.pdf>). Ce document apporte des conseils précieux aux pays et aux agences de mise en œuvre lors de l'adoption des alternatives aux HCFC et des recommandations spécifiques concernant les questions de sécurité. Il recommande le développement de réglementations et de codes de bonne pratique appropriés et l'adoption de normes pour sécuriser l'introduction de frigorigènes inflammables, plus toxiques



et fonctionnant à de plus hautes pressions, tout en reconnaissant que cela peut représenter un défi sans l'apport d'une assistance technique. Plus récemment, la question de la sécurité liée au retrofit a été abordée spécifiquement par le Comité exécutif en 2014 (décision 72/17), qui posait que « *quiconque entreprend l'adaptation [par retrofit] d'équipements de réfrigération et de climatisation fonctionnant aux HCFC pour une utilisation avec des fluides frigorigènes inflammables ou toxiques, ou entreprend de procéder à l'entretien de ces installations, le fait en toute connaissance de cause et assume l'entière responsabilité des risques engendrés* ». Alors que, de plus en plus, l'adoption des réfrigérants alternatifs aux HCFC est envisagée, et à

la lumière de discussions récentes sur la réduction programmée des HFC dans le futur, la question de la sécurité liée aux réfrigérants alternatifs se pose de façon plus aigüe. De nombreux pays article 5 ont demandé qu'on leur apporte du matériel de formation, de sensibilisation et d'information sur l'utilisation de ces fluides de remplacement.<sup>18</sup> D'autres pays ont déjà des programmes de formation bien établis, des normes adéquates, la réglementation et les codes de bonne pratique bien installés et peuvent servir d'exemple et apporter leur aide à ceux qui veulent développer des initiatives de cet ordre, et ils peuvent prendre en toute connaissance de cause les décisions appropriées pour l'adoption des différentes alternatives aux HCFC possédant un faible PRG.

## Exemples d'actions mises en place dans les pays en développement

La question de la manière d'aborder les problèmes de sécurité n'est pas encore traitée de façon systématique et institutionnelle dans la majorité des pays

article 5. Néanmoins, on peut trouver des exemples d'actions entreprises pour s'attaquer à la question primordiale de la sécurité de ces alternatives.

### *La formation*

La plupart des PGEH comprennent des clauses sur la façon d'apporter un renforcement des capacités et une formation aux techniciens frigoristes. Au sein de ces initiatives de formation, on trouve souvent une composante consacrée à la sécurité. Il peut y avoir un cours entier, des modules spécifiques ou des supports d'information sur la sécurité liée aux fluides inflammables, toxiques ou fonctionnant à de hautes pressions selon les besoins. Dans beaucoup de ces formations, des séances pratiques sont incorporées et elles peuvent inclure une évaluation de compétences. En Inde, par exemple, dans le cadre du PGEH, la formation apportée aux artisans techniciens de maintenance comprend un module important sur les questions de

sécurité liées aux fluides alternatifs aux HCFC. Celui-ci comprend une formation sur l'importance de la sécurité pendant les opérations d'entretien de l'équipement, des conseils pour la maintenance préventive et les interventions en cas de panne et des informations sur les divers outils et équipement spécifiques nécessaires aux tâches de maintenance. Il couvre aussi sur le plan pratique la façon dont les accidents peuvent être évités et comment être préparé aux situations d'urgence et avoir le bon comportement si une urgence intervenait. Ces sujets sont de plus en plus souvent abordés dans des réunions thématiques des réseaux régionaux organisés par le Programme d'aide à la conformité (PAC) du PNUÉ OzoneAction

<sup>18</sup> <http://conf.montreal-protocol.org/meeting/mop/cop10-mop26/presession/Franais/MOP-26-9F.pdf>

## Les Normes

Une autre approche consiste à aborder ces questions par le biais des normes de sécurité. Dans de nombreux cas, cela implique que le BNO travaille en coopération avec l'organisme national de certification/ d'élaboration des normes (ex : un Bureau national de normalisation). En Chine et à St Kitts & Nevis, par exemple, une norme de sécurité pour la manipulation des fluides frigorigènes naturels a été rédigée. Autre exemple, au Royaume de Bahreïn et dans l'Emirat du Koweït, le PGEH comprend le développement et l'introduction de normes et codes nationaux pour les équipements et les installations qui fonctionnent avec du R-717 ainsi que des codes pour la maintenance de ces équipements. Cette démarche demande l'intervention de consultants

internationaux, d'ateliers de consultation, de visites de terrain dans d'autres pays du sud, la rédaction et la révision des codes et normes, l'expérimentation des versions finales des codes et normes avant la finalisation et la publication ainsi que des séances d'orientation sur les nouveaux codes et normes à l'intention des différentes parties prenantes. Il peut être souhaitable que les Administrateurs nationaux chargés de l'ozone (ANO) et les Experts nationaux soient formés à la mise sur pied d'un système de certification crédible. Par exemple, un certain nombre de pays ont reçu une formation organisée par ActionOzone et ont pu se former aux normes européennes de certification, comme ce fut le cas pour le Mozambique.

## L'analyse des risques

En Chine, une série d'études portant sur la sécurité et l'évaluation des risques liés aux frigorigènes de remplacement a été menée. Ces études se sont penchées en particulier sur les risques liés à l'inflammabilité des hydrocarbures utilisés dans des climatiseurs individuels dans une série de scénarios construits autour des risques, comme des fuites, les concentrations inflammables, des systèmes en surpression, des feux externes, etc.<sup>19</sup> Les études de ce type ont une grande importance pour la compréhension

et la prise de décisions concernant l'adoption des réfrigérants alternatifs et les mesures de sécurité spécifiques nécessaires. Le Mexique, dans le cadre de son PGEH prévoit aussi de conduire des tests de sécurité pour l'application des hydrocarbures dans les systèmes de climatisation. Le niveau de sécurité et les dangers potentiels d'une sélection d'équipements seront évalués et ces résultats serviront aux recommandations pour les normes de sécurité qui doivent être établies pour le secteur.

<sup>19</sup> Zhang et al., Research on the flammability hazards of an air-conditioner using refrigerant R-290. International Journal of Refrigeration, Volume 36, Issue 5, Aout 2013, Pages 1483–1494

# 6 | Conseils aux Bureaux nationaux ozone (BNO)



## Approche générale

Lorsqu'un BNO veut s'attaquer à l'adoption des réfrigérants alternatifs qui présentent des risques supplémentaires pour la sécurité, il est utile de comprendre toutes les différentes implications et d'avoir un plan d'action pour satisfaire ses propres ambitions et prendre en compte les problèmes de toutes les parties prenantes. Il est essentiel que les autorités conduisent ce projet de façon stratégique et prennent les mesures nécessaires. Par exemple :

- Identifier quelles substances il est envisagé d'adopter ;
- Comprendre quels sont les groupes de parties prenantes qui seront affectés par l'adoption de tel ou tel fluide frigorigène alternatif ;
- Déterminer quels sont les points de résistance auxquels il faudra faire face, et à quel degré ;
- Organiser des groupes de réflexion, des conférences, des actions de formation, etc., pour diffuser l'information appropriée ;
- Déterminer si certains outils, équipements ou machinerie spécifiques

sont nécessaires et faciliter leur sélection et leur acquisition ;

- Etablir un groupe d'intérêt et une boucle de rétroaction pour encourager une discussion continue et des améliorations de l'expérience et des connaissances.

Tous les outils, toutes les techniques appropriés doivent être mis en œuvre pour obtenir un niveau de sécurité le plus haut possible, que ce soit en relation avec la conception du produit ou de l'équipement dans une entreprise de fabrication ou au stade de la mise au rebut à la fin de la vie d'un équipement de réfrigération. La mise en œuvre de différentes mesures peut être perçue comme une façon d'apporter différentes couches de protection et elles sont appliquées pour minimiser les risques que pose l'application des réfrigérants alternatifs. En conséquence, les points à prendre en compte pour l'introduction des réfrigérants alternatifs peuvent inclure ceux qui sont présentés brièvement dans les sections ci-dessous.

## Sensibilisation

Travailler à la sensibilisation de toutes les parties prenantes (en plus des techniciens). En particulier, sensibiliser à la fois de l'industrie du froid, mais aussi des secteurs plus larges, comme

les architectes, les travailleurs de la construction, les exploitants, les gestionnaires d'installations, les utilisateurs finaux, etc.

## Importance de la formation

Obtenir un haut niveau de sécurité par la formation des techniciens et autres ingénieurs du secteur, pour la création d'appareils, la sélection des composants, la conception des systèmes, la planification d'installations, la mise en service, etc. Cela ne met pas seulement en avant la sécurité, mais cela tire vers le haut tout un secteur, en termes de connaissances et de savoir-faire, de qualité de

travail, de prise de conscience, et autres. En soutien de cette politique, un accent devrait être mis sur des programmes de certification, d'enregistrement et d'accréditation des techniciens et ingénieurs. Dans ce cadre, il peut s'avérer bon de créer des niveaux de qualification, et d'attribuer aux niveaux correspondant des autorisations d'intervention sur tel ou tel type de système.

## Changement de culture

Dans de nombreuses régions, l'importance d'une « culture de la sécurité » n'a pas encore fait sa place dans le secteur du froid comme dans d'autres. Il convient de présenter des mesures qui aident à ce changement de culture dans l'industrie, vers une prise en

compte plus sérieuse de la question de la sécurité (comme d'autres questions connexes : prévention des fuites, l'efficacité énergétique, etc.). Ici aussi, cela peut se faire par le biais de la législation, de la sensibilisation et de mesures d'incitation.

## Lentement mais sûrement

Aborder l'introduction de ces frigorigènes de manière contrôlée et progressive, de sorte que les méthodes de travail et les comportements puissent être modifiés de façon mesurée et contrôlée. Une approche pourrait consister en une introduction graduée des nouveaux frigorigènes, en fonction des secteurs, par exemple, en commençant par des systèmes simples, faciles à fabriquer et

à utiliser, et en complexifiant graduellement les installations par la suite. Une autre option pourrait être de les incorporer dans les programmes (existants ou nouveaux) d'enregistrement des techniciens, dans lesquels seuls les techniciens les mieux formés et les plus compétents pourraient avoir le droit d'utiliser, par exemple, les HC, et mettre en place des systèmes d'accréditation.

## Experts nationaux

Établir une base d'expertise dans le cadre du pays ou de la région, où les questions pertinentes de sécurité peuvent être résolues. Pour ce faire, les autorités peuvent encourager des personnes choisies dans le secteur pour devenir des « experts nationaux », qui peuvent se consacrer à la collecte d'informations et qui peuvent travailler en collaboration

avec les entreprises, les accompagner dans leur adoption de ces frigorigènes. Une option supplémentaire pourrait être de donner autorité à des organisations ou à des experts individuels pour procéder à des contrôles et à des inspections afin de s'assurer que les règles adéquates sont suivies et que le niveau nécessaire de sécurité est effectivement atteint.

## Règlementations et normes

Les autorités peuvent envisager l'adoption d'instruments légaux ou autres comme des normes de sécurité. Si de telles règles existent déjà, les autorités peuvent identifier des moyens de faire évoluer la réglementation ou les normes

existantes pour promouvoir une utilisation plus appropriée de ces frigorigènes. Cependant, il est important de prendre garde que les règlements et les normes ne soient pas excessivement prescriptifs, ce qui les rendrait contre-productifs.

## Identifier des partenaires pour une coopération

Lorsque les connaissances ou l'expérience manquent, il faut chercher un soutien auprès de partenaires dans une coopération. Des institutions, des organisations professionnelles du secteur du froid, des universités, des laboratoires, les ministères et départements gouvernementaux offrent aux entreprises un soutien et des

conseils pour l'utilisation des systèmes de réfrigération. D'autres organismes peuvent être consultés, comme les organisations industrielles, les instituts technologiques, les agences de développement et les fonds internationaux, les organismes de normalisation ou d'accréditation.

## Développement des politiques de sécurité

Il est toujours préférable d'éviter les problèmes liés à la sécurité à n'importe quel niveau et quelle que soit la partie prenante, car ils peuvent entraîner un arrêt du processus de production, des défauts récurrents dans un modèle particulier, des blessures pour le personnel ou pour le public, et l'abandon de telle ou telle option technologique. Il est donc souhaitable d'élaborer des

contrôles institutionnels pour éviter des pertes accidentelles. Un tel programme demande la mise en œuvre de certaines étapes :

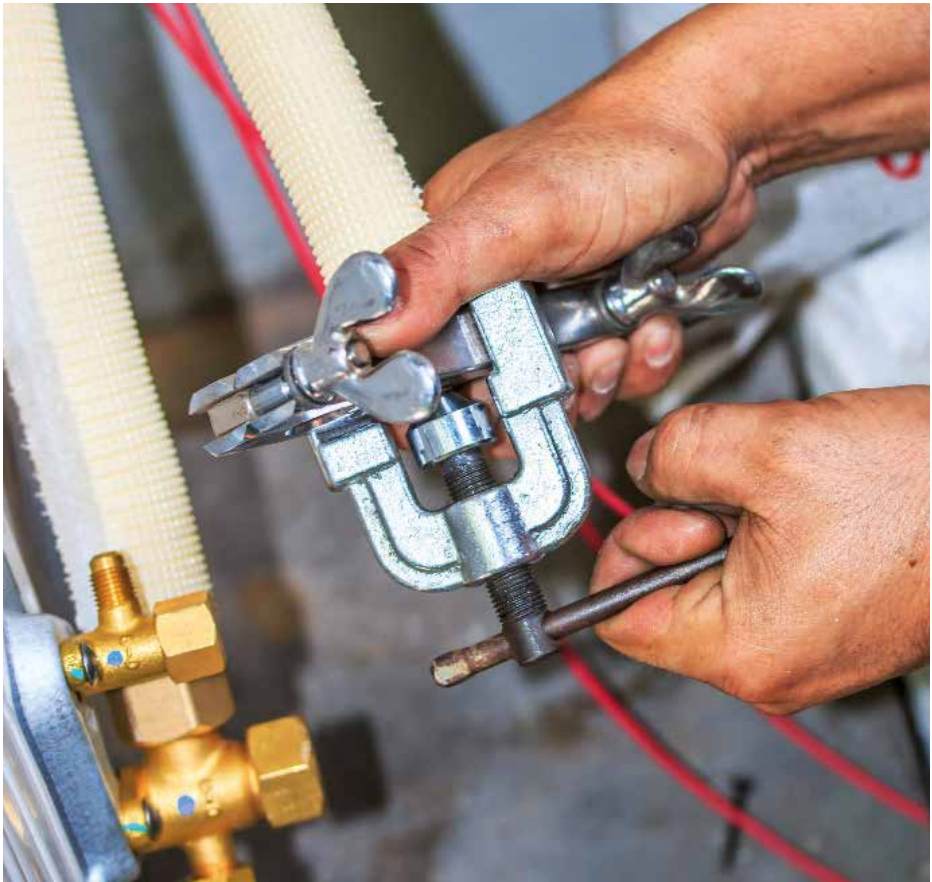
- i) identification des sources de danger,
- ii) évaluation des risques,
- iii) décision sur les précautions à prendre,
- iv) mise en œuvre des directives,
- v) vérification de leur utilisation,

- vi) retour d'expérience auprès de l'encadrement,
- vii) modification des règles ou procédures en fonction des nécessités.

Telles sont les bases d'une politique de sécurité, et de tels principes devraient couvrir toutes les activités dans lesquelles l'entreprise est engagée. On peut y inclure la sélection du personnel pour tel ou tel emploi, le choix de l'équipement et des matériels, la conception et l'équipement des produits, la façon dont le travail est organisé, la façon dont les prestations de service sont effec-

tuées, etc. Les éléments-clés de cette politique devraient garantir que :

- les enseignements sont tirés des erreurs et des succès ;
- des audits de sécurité sont effectués ;
- les mesures appropriées sont prises en fonction des résultats de ces audits, et elles sont dûment motivées ;
- les personnels à tous les niveaux sont partie prenante dans ces audits au même titre que des consultants extérieurs ;
- des remises en causes de la politique et des directives de sécurité ont lieu fréquemment.



# 7 | Suggestions de lecture



Documents essentiellement en langue anglaise

Australian Institute of Refrigeration, Airconditioning and Heating (AIRAH) – Flammable Refrigerant Safety Guide, [http://www.airah.org.au/imis15\\_prod/Content\\_Files/TechnicalPublications/Flammable-Refrigerant-Safety-Guide-2013.pdf](http://www.airah.org.au/imis15_prod/Content_Files/TechnicalPublications/Flammable-Refrigerant-Safety-Guide-2013.pdf)

BRA (British Refrigeration Association) – Guide to Flammable Refrigerants, [http://www.feta.co.uk/uploaded\\_images/files/BRA%20Guide%20to%20Flammable%20Refrigerants%20-%20Issue%201%20-%20Oct%202012.pdf](http://www.feta.co.uk/uploaded_images/files/BRA%20Guide%20to%20Flammable%20Refrigerants%20-%20Issue%201%20-%20Oct%202012.pdf)

Eurammon – information sheets, <http://www.eurammon.com/information-materials>

GIZ Proklima – Guidelines for the safe use of flammable refrigerants in the production of room air-conditioners, <http://www.giz.de/expertise/downloads/giz-2012-Guidelines-Safety-AC.pdf>

GIZ Proklima – Guidelines for the safe use of hydrocarbon refrigerants, <http://www.giz.de/expertise/downloads/Fachexpertise/giz2010-en-guidelines-safe-use-of-hydrocarbon.pdf>

GIZ Proklima - Operation of split air-conditioning systems with hydrocarbon refrigerant, <http://www.giz.de/expertise/downloads/giz2011-en-split-air-conditioning.pdf>

International Institute of Ammonia Refrigeration (IIAR) – CO2 Handbook, <http://www.iiar.org/iiar/ItemDetail?ProductCode=01BOO-EN0402>

Institute of Refrigeration – Safety Code of Practice for Refrigerating Systems Utilising A2/A3 Refrigerants, <http://www.iior.org.uk/R0EW5TVYA1>

Institute of Refrigeration – Safety Code of Practice for Refrigerating Systems Utilising ammonia – <http://www.iior.org.uk/X6EXMYYAD>

Institute of Refrigeration – Safety Code of Practice for Refrigerating Systems Utilising carbon dioxide, <http://www.iior.org.uk/P8EXMV1JAD>

KHLim - NARECO2, Natural Refrigerant CO2 handbook, <http://shecco.com/files/NaReCO2-handbook-2009.pdf>

PNUE – Les normes internationales en réfrigération et en climatisation [http://www.unep.org/ozonaction/Portals/105/documents/Ozone\\_Day\\_2015/7739-f-StandardsBooklet2015.pdf](http://www.unep.org/ozonaction/Portals/105/documents/Ozone_Day_2015/7739-f-StandardsBooklet2015.pdf)



Tableau A1. Données techniques sur les fluides mono composants

Désignation du frigorigène	Formule chimique	Nom chimique	Poids moléculaire	Point d'ébullition Point (°C)	VTA/ATEL/ODL (kg/m <sup>3</sup> )	LII/LFL (kg/m <sup>3</sup> )	Classement sécurité	Durée de vie dans l'atmosphère (ans)	Efficacité relative (W/m/ ppm)	PRG à 100 ans	PRG à 20 ans	PAO
<b>Famille des méthanes</b>												
CFC-11	CCl <sub>3</sub> F	trichlorofluorométhane	137,4	24	0,006 2	NF	A1	52	0,26	5 160	7 090	1
CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	dichlorodifluorométhane	120,9	-30	0,088	NF	A1	102	0,32	10 300	10 800	0,73
CFC-13	CCIF <sub>3</sub>	chlorotrifluorométhane	104,5	-81	ND	NF	A1	640	0,25	13 900	10 900	1
BFC-13B1	CBrF <sub>3</sub>	bromotrifluorométhane	148,9	-58	ND	NF	A1	72	0,30	6 670	7 930	15,2
PFC-14	CF <sub>4</sub>	tétrafluorométhane (tétrafluorure de carbone)	88,0	-128	0,40	NF	A1	50000	0,09	6 630	4 880	
HCFC-22	CHClF <sub>2</sub>	chlorodifluorométhane	86,5	-41	0,21	NF	A1	12	0,21	1 780	5 310	0,034
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	trifluorométhane	70,0	-82	0,15	NF	A1	228	0,18	12 500	10 800	
HCC-30	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	dichlorométhane (chlorure de méthylène)	84,9	40	ND	NF	B1	0,4	0,03	9	33	
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	difluorométhane (fluorure de méthylène)	52,0	-52	0,30	0,307	A2L	5,4	0,11	704	2 530	
HC-50	CH <sub>4</sub>	méthane	16,0	-161	ND	0,032	A3	12,4	3,63e-4	30	85	

<sup>18</sup> Tiré du Chapitre 2, UNEP, 2014 Report of the Refrigeration, Air-conditioning and Heat pumps Technical Options Committee, 2014 Assessment, United National Environment Programme, Nairobi



Désignation du frigorigène	Formule chimique	Nom chimique	Poids moléculaire	Point d'ébullition Point (°C)	VTA/ATEL/ODL (kg/m <sup>3</sup> )	LII/LFL (kg/m <sup>3</sup> )	Classement sécurité	Durée de vie dans l'atmosphère (ans)	Efficacité relative (W/m/ ppm)	PRG à 100 ans	PRG à 20 ans	PAO
<b>Famille des éthanes</b>												
CFC-113	CCl <sub>2</sub> FCClF <sub>2</sub>	1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroéthane	187,4	48	0,02	NF	A1	93	0,30	6 080	6 560	0,81
CFC-114	CClF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>	1,2-dichloro-1,1,2,2-tétrafluoroéthane	170,9	4	0,14	NF	A1	189	0,31	8 580	7 710	0,5
CFC-115	CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	chloropentafluoroéthane	154,5	-39	0,76	NF	A1	540	0,20	7 310	5 780	0,26
PFC-116	CF <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	hexafluoroéthane	138,0	-78	0,68	NF	A1	10000	0,25	11 100	8 210	
HCFC-123	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroéthane	152,9	27	0,057	NF	B1	1,3	0,15	79	292	0,01
HCFC-124	CHClFCF <sub>3</sub>	2-chloro-1,1,1,2-tétrafluoroéthane	136,5	-12	0,056	NF	A1	5,9	0,20	527	1 870	0,02
HFC-125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	pentafluoroéthane	120,0	-49	0,37	NF	A1	31	0,23	3 450	6 280	
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	1,1,1,2-tétrafluoroéthane	102,0	-26	0,21	NF	A1	14	0,16	1 360	3 810	
HCFC-142b	CH <sub>3</sub> CClF <sub>2</sub>	1-chloro-1,1-difluoroéthane	100,5	-10	0,10	0,329	A2	18	0,19	2 070	5 140	0,057
HFC-143a	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	1,1,1-trifluoroéthane	84,0	-47	0,48	0,282	A2L	51	0,16	5 080	7 050	
HFC-152a	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	1,1-difluoroéthane	66,1	-25	0,14	0,130	A2	1,6	0,10	148	545	
HC-170	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	éthane	30,1	-89	0,008 6	0,038	A3			5,5	20	

Désignation du frigorigène	Formule chimique	Nom chimique	Poids moléculaire	Point d'ébullition Point (°C)	VTA/ATEL/ODL (kg/m <sup>3</sup> )	LII/LFL (kg/m <sup>3</sup> )	Classement sécurité	Durée de vie dans l'atmosphère (ans)	Efficacité relative (W/m/ ppm)	PRG à 100 ans	PRG à 20 ans	PAO
<b>Ethers</b>												
HE-E170	CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	méthoxy méthane (diméthyl éther)	46,1	-25	0,079	0,064	A3	0,015	0,02	1	1	
<b>Famille des propane</b>												
PFC-218	CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	octafluoropropane	188,0	-37	0,34	NF	A1	2600	0,28	8 900	6 640	
HFC-227ea	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1,1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane	170,0	-16	0,19	NF	A1	36	0,26	3 140	5 250	
HFC-236fa	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1,1,1,1,3,3,3-hexafluoropropane	152,0	-1	0,34	NF	A1	242	0,24	8 060	6 940	
HFC-245fa	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1,1,1,1,3,3-pentafluoropropane	134,0	15	0,19	NF	B1	7,9	0,24	882	2 980	
HC-290	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	propane	44,1	-42	0,09	0,038	A3	12,5 jours		5	18	
<b>Composés organiques cycliques</b>												
PFC-C318	-(CF <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> -	octafluorocyclobutane	200,0	-6	0,65	NA	A1	3200	0,32	9 540	7 110	
<b>Hydrocarbures</b>												
HC-600	CH <sub>3</sub> CH- CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	butane	58,1	0	0,002 <sub>4</sub>	0,038	A3			4	15	
HC-600a	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	2-méthylpropane (isobutane)	58,1	-12	0,059	0,043	A3	6,0 jours		~20	74	
HC-601	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> - CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	Pentane	72,2	36	0,0029	0,035	A3	3,4 jours		~20	74	

Désignation du frigorigère	Formule chimique	Nom chimique	Poids moléculaire	Point d'ébullition Point (°C)	VTA/ATEL/ODL (kg/m <sup>3</sup> )	LII/LFL (kg/m <sup>3</sup> )	Classement sécurité	Durée de vie dans l'atmosphère (ans)	Efficacité relative (W/m/ ppm)	PRG à 100 ans	PRG à 20 ans	PAO
HC-601a	$\text{CH}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2-\text{CH}_3$	2-méthylbutane (isopentane)	72,2	27	0,0029	0,038	A3	3,4 jours		~20	74	
<b>Composés inorganiques</b>												
R-702	H <sub>2</sub>	Hydrogène	2,0	-253			A3					
R-704	He	Hélium	4,0	-269		NA	A1					
R-717	NH <sub>3</sub>	Ammoniac	17,0	-33	0,000 22	0,116	B2L					
R-718	H <sub>2</sub> O	Eau	18,0	100		NA	A1					
R-720	Ne	Néon	20,2	-246		NA	A1					
R-728	N <sub>2</sub>	Azote	28,0	-196		NA	A1					
R-740	Ar	Argon	39,9	-186		NA	A1					
R-744	CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone	44,0	-78c	0,072	NA	A1		1,37e- 5	1	1	
<b>Composés organiques insaturés</b>												
HC-1150	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	éthène (éthylène)	28,1	-104	ND	0,036	A3			3,7	14	
HCFC-1233zd(E)	CF <sub>3</sub> CH=CHCl	trans-1-chloro-3,3,3-trifluoro-1-propène	130,5	18,1	0	NA	A1	26,0 jours	0,04	1	5	0,000 34
HFC-1234yf	CF <sub>3</sub> CF=CH <sub>2</sub>	2,3,3,3-tétrafluoro-1-propène	114,0	-29,4	0,47	0,289	A2L	10,5 jours	0,02	<1	1	
HFC-1234ze(E)	CF <sub>3</sub> CH=CHF	trans-1,3,3,3-tétrafluoro-1-propène	114,0	-19,0	0,28	0,303	A2L	40,4 jours	0,04	<1	4	
HC-1270	CH <sub>3</sub> CH=CH <sub>2</sub>	propène (propylène)	42,1	-48	0,001 7	0,046	A3	0,35 jours		1,8	6,6	

Tableau A.2 : Données concernant les mélanges frigorigères zéotropiques

Désignation du frigorigère	Composition du frigorigère (% masse)	Poids moléculaire	Point d'ébullition normal (°C)	VTA/ATEL/ODL (kg/m <sup>3</sup> )	LII/LFL (kg/m <sup>3</sup> )	Classement sécurité	PRG à 100 ans	PRG à 20 ans	PAO
R-401A	R-22/152a/124 (53,0/13,0/34,0)	94,4	-34,4/-28,8	0,10	NA	A1	1 100	3 500	0,02
R-401B	R-22/152a/124 (61,0/11,0/28,0)	92,8	-35,7/-30,8	0,11	NA	A1	1 200	3 800	0,03
R-401C	R-22/152a/124 (33,0/15,0/52,0)	101	-30,5/-23,8	0,083	NA	A1	880	2 800	0,02
R-402A	R-125/290/22 (60,0/2,0/38,0)	101,5	-49,2/-47,0	0,27	NA	A1	2 700	5 800	0,01
R-402B	R-125/290/22 (38,0/2,0/60,0)	94,7	-47,2/-44,9	0,24	NA	A1	2 400	5 600	0,02
R-403A	R-290/22/218 (5,0/75,0/20,0)	92	-44,0/-42,3	0,24	0,480	A2	3 100	5 300	0,03
R-403B	R-290/22/218 (5,0/56,0/39,0)	103,3	-43,8/-42,3	0,29	NA	A1	4 500	5 600	0,02
R-404A	R-125/143a/134a (44,0/52,0/4,0)	97,6	-46,6/-45,8	0,52	NA	A1	4 200	6 600	
R-406A	R-22/600a/142b (55,0/4,0/41,0)	89,9	-32,7/-23,5	0,14	0,302	A2	1 800	5 000	0,04
R-407A	R-32/125/134a (20,0/40,0/40,0)	90,1	-45,2/-38,7	0,31	NA	A1	2 100	4 500	
R-407B	R-32/125/134a (10,0/70,0/20,0)	102,9	-46,8/-42,4	0,33	NA	A1	2 800	5 400	
R-407C	R-32/125/134a (23,0/25,0/52,0)	86,2	-43,8/-36,7	0,29	NA	A1	1 700	4 100	
R-407D	R-32/125/134a (15,0/15,0/70,0)	91	-39,4/-32,7	0,25	NA	A1	1 600	4 000	
R-407E	R-32/125/134a (25,0/15,0/60,0)	83,8	-42,8/-35,6	0,27	NA	A1	1 500	3 900	
R-407F	R-32/125/134a (30,0/30,0/40,0)	82,1	-46,1/-39,7	0,32	NA	A1	1 800	4 200	
R-408A	R-125/143a/22 (7,0/46,0/47,0)	87	-45,5/-45,0	0,33	NA	A1	3 400	6 200	0,02
R-409A	R-22/124/142b (60,0/25,0/15,0)	97,4	-35,4/-27,5	0,12	NA	A1	1 500	4 400	0,03
R-409B	R-22/124/142b (65,0/25,0/10,0)	96,7	-36,5/-29,7	0,12	NA	A1	1 500	4 400	0,03
R-410A	R-32/125 (50,0/50,0)	72,6	-51,6/-51,5	0,42	NA	A1	2 100	4 400	
R-410B	R-32/125 (45,0/55,0)	75,6	-51,5/-51,4	0,43	NA	A1	2 200	4 600	

Désignation du frigorigène	Composition du frigorigène (% masse)	Poids moléculaire	Point d'ébullition normal (°C)	VTA/ATEL/ODL (kg/m3)	LII/LFL (kg/m3)	Classement sécurité	PRG à 100 ans	PRG à 20 ans	PAO
R-411A	R-1270/22/152a (1,5/87,5/11,0)	82,4	-39,7/-37,2	0,074	0,186	A2	1 600	4 700	0,03
R-411B	R-1270/22/152a (3,0/94,0/3,0)	83,1	-41,6/-41,3	0,044	0,239	A2	1 700	5 000	0,03
R-412A	R-22/218/143b (70,0/5,0/25,0)	88,2	-36,4/-28,8	0,17	0,329	A2	3 000	5 800	0,02
R-413A	R-218/134a/600a (9,0/88,0/3,0)	104	-29,3/-27,6	0,21	0,375	A2	2 000	4 000	
R-414A	R-22/124/600a/142b (51,0/28,5/4,0/16,5)	96,9	-34,0/-25,8	0,10	NA	A1	1 400	4 100	0,03
R-414B	R-22/124/600a/142b (50,0/39,0/1,5/9,5)	101,6	-34,4/-26,1	0,096	NA	A1	1 300	3 900	0,03
R-415A	R-22/152a (82,0/18,0)	81,9	-37,5/-34,7	0,19	0,188	A2	1 500	4 500	0,03
R-415B	R-22/152a (25,0/75,0)	70,2	-23,4/-21,8	0,15	0,13	A2	560	1 700	0,009
R-416A	R-134a/124/600 (59,0/39,5/1,5)	111,9	-23,4/-21,8	0,064	NA	A1	1 000	3 000	0,008
R-417A	R-125/134a/600 (46,6/50,0/3,4)	106,7	-38,0/-32,9	0,057	NA	A1	2 300	4 800	
R-417B	R-125/134a/600 (79,0/18,3/2,7)	113,1	-44,9/-41,5	0,069	NA	A1	3 000	5 700	
R-417C	R-125/134a/600 (19,5/78,8/1,7)	103,7	-32,7/-29,2		NA	A1	1 700	4 200	
R-418A	R-290/22/152a (1,5/96,0/2,5)	84,6	-41,2/-40,1	0,20	0,31	A2	1 700	5 100	0,03
R-419A	R-125/134a/E170 (77,0/19,0/4,0)	109,3	-42,6/-36,0	0,31	0,25	A2	2 900	5 600	
R-419B	R-125/134a/E170 (48,5/48,0/3,5)	105,2	-37,4/-31,5			A2	2 300	4 900	
R-420A	R-134a/142b (88,0/12,0)	101,8	-25,0/-24,2	0,18	NA	A1	1 400	4 000	0,007
R-421A	R-125/134a (58,0/42,0)	111,7	-40,8/-35,5	0,28	NA	A1	2 600	5 200	
R-421B	R-125/134a (85,0/15,0)	116,9	-45,7/-42,6	0,33	NA	A1	3 100	5 900	
R-422A	R-125/134a/600a (85,1/11,5/3,4)	113,6	-46,5/-44,1	0,29	NA	A1	3 100	5 800	
R-422B	R-125/134a/600a (55,0/42,0/3,0)	108,5	-40,5/-35,6	0,25	NA	A1	2 500	5 100	

Désignation du frigorigène	Composition du frigorigène (% masse)	Poids moléculaire	Point d'ébullition normal (°C)	VTA/ATEL/ODL (kg/m3)	LII/LFL (kg/m3)	Classement sécurité	PRG à 100 ans	PRG à 20 ans	PAO
R-422C	R-125/134a/600a (82,0/15,0/3,0)	113,4	-45,3/-42,3	0,29	NA	A1	3 000	5 700	
R-422D	R-125/134a/600a (65,1/31,5/3,4)	109,9	-43,2/-38,4	0,26	NA	A1	2 700	5 300	
R-422E	R-125/134a/600a (58,0/39,3/2,7)	109,3	-41,8/-36,4		NA	A1	2 500	5 100	
R-423A	134a/227ea (52,5/47,5)	126	-24,2/-23,5	0,30	NA	A1	2 200	4 500	
R-424A	R-125/134a/600a/600/601a (50,5/47,0/0,9/1,0/0,6)	108,4	-39,1/-33,3	0,10	NA	A1	2 400	5 000	
R-425A	R-32/134a/227ea (18,5/69,5/12)	90,3	-38,1/-31,3	0,27	NA	A1	1 500	3 700	
R-426A	R-125/134a/600/601a (5,1/93,0/1,3/0,6)	101,6	-28,5/-26,7	0,083	NA	A1	1 400	3 900	
R-427A	R-32/125/143a/134a (15,0/25,0/10,0/50,0)	90,4	-43,0/-36,3	0,29	NA	A1	2 200	4 600	
R-428A	R-125/143a/290/600a (77,5/20,0/0,6/1,9)	107,5	-48,3/-47,5	0,37	NA	A1	3 700	6 300	
R-429A	R-E170/152a/600a (60,0/10,0/30,0)	50,8	-26,0/-25,6	0,098	0,052	A3	21	77	
R-430A	R-152a/600a (76,0/24,0)	64	-27,6/-27,4	0,10	0,084	A3	120	430	
R-431A	R-290/152a (71,0/29,0)	48,8	-43,1/-43,1	0,10	0,044	A3	46	170	
R-432A	R-1270/E170 (80,0/20,0)	42,8	-46,6/-45,6	0,002 1	0,039	A3	1,6	5,5	
R-433A	R-1270/290 (30,0/70,0)	43,5	-44,6/-44,2	0,005 5	0,036	A3	4	15	
R-433B	R-1270/290 (5,0/95,0)	44	-42,7/-42,5	0,025	0,025	A3	4,8	17	
R-433C	R-1270/290 (25,0/75,0)	43,6	-44,3/-43,9	0,006 6	0,032	A3	4,2	15	
R-434A	R-125/143a/134a/600a (63,2/18,0/16,0/2,8)	105,7	-45,0/-42,3	0,32	NA	A1	3 300	5 800	
R-435A	R-E170/152a (80,0/20,0)	49	-26,1/-25,9	0,09	0,069	A3	30	110	
R-436A	R-290/600a (56,0/44,0)	49,3	-34,3/-26,2	0,073	0,032	A3	12	43	
R-436B	R-290/600a (52,0/48,0)	49,9	-33,4/-25,0	0,071	0,033	A3	12	45	

Désignation du frigorigène	Composition du frigorigène (% masse)	Poids moléculaire	Point d'ébullition normal (°C)	VTA/ATEL/ODL (kg/m3)	LII/LFL (kg/m3)	Classement sécurité	PRG à 100 ans	PRG à 20 ans	PAO
R-437A	R-125/134a/600/601 (19,5/78,5/1,4/0,6)	103,7	-32,9/-29,2	0,081	NA	A1	1 700	4 200	
R-438A	R-32/125/134a/600/601a (8,5/45,0/44,2/1,7/0,6)	99,1	-43,0/-36,4	0,079	NA	A1	2 200	4 700	
R-439A	R-32/125/600a (50,0/47,0/3,0)	71,2	-52,0/-51,8	0,34	0,304	A2	2 000	4 200	
R-440A	R-290/134a/152a (0,6/1,6/97,8)	66,2	-25,5/-24,3	0,14	0,124	A2	170	590	
R-441A	R-170/290/600a/600 (3,1/54,8/6,0/36,1)	48,3	-41,9/-20,4	0,006 3	0,032	A3	5,6	20	
R-442A	R-32/125/134a/152a/227ea (31,0/31,0/30,0/3,0/5,0)	81,8	-46,5/-39,9	0,33	NA	A1	1 900	4 200	
R-443A	R-1270/290/600a (55,0/40,0/5,0)	43,5	-44,8/-41,2			A3	4	15	
R-444A	R-32/152a/1234ze(E) (12,0/5,0/83,0)	96,7	-34,3/-24,3			A2L	93	330	
R-444B	R-32/1234ze(E)/152a (41,5/48,5/10)	72,8	-44,6/-34,9			A2L	310	1 100	
R-445A	R-744/134a/1234ze(E) (6,0/9,0/85,0)	103,1	-50,3/-23,5			A2L	120	350	
R-446A	R-32/1234ze(E)/600 (68,0/29,0/3,0)	62	-49,4/-44,0			A2L	480	1 700	
R-447A	R-32/125/1234ze(E) (68,0/3,5/28,5)	63	-49,3/-44,2			A2L	600	1 900	
R-448A	R-32/125/1234yf/134a/1234ze(E) (26/26/20/21/7)	86,4	-45,9/-39,8			A1	1 400	3 100	
R-449A	R-134a/125/1234yf/32 (26/25/25/24)	87,4	-46,0/-39,9			A1	1 400	3 200	
R-450A	R-1234ze(E)/134a (58/42)	108,7	-23,4/-22,8			A1	570	1 600	
R-451A	R-1234yf/134a (89,8/10,2)	112,7	-30,8/-30,5			A2L	140	390	
R-451B	R-1234yf/134a (88,8/11,2)	112,6	-31,0/-30,6			A2L	150	430	
R-452A	R-1234yf/32/125 (30/11/59)	103,5	-47,0/-43,2			A1	2 100	4 000	

Tableau A.3. Données concernant les mélanges frigorigènes azéotropiques

Désignation du frigorigène	Composition du frigorigène (% masse)	Poids moléculaire	Point d'ébullition normal (°C)	VTA/ATEL/ODL (kg/m3)	LII/LFL (kg/m3)	Classement sécurité	PRG à 100 ans	PRG à 20 ans	PAO
R-500	R-12/152a (73,8/26,2)	99,3	-33,6/-33,6	0,12	NA	A1	7 600	8 100	0,5
R-501	R-22/12 (75,0/25,0)	93,1	-40,5/-40,3	0,21	NA	A1	3 900	6 700	0,2
R-502	R-22/115 (48,8/51,2)	111,6	-45,3/-45,0	0,33	NA	A1	4 600	5 600	0,1
R-503	R-23/13 (40,1/59,9)	87,2	-88	ND	NA	A1	13 000	11 000	0,6
R-504	R-32/115 (48,2/51,8)	79,2	-57	0,45	NA	A1	4 100	4 200	0,1
R-507A	R-125/143a (50,0/50,0)	98,9	-47,1/-47,1	0,53	NA	A1	4 300	6 700	
R-508A	R-23/116 (39,0/61,0)	100,1	-87,4/-87,4	0,23	NA	A1	12 000	9 200	
R-508B	R-23/116 (46,0/54,0)	95,4	-87,4/-87,0	0,2	NA	A1	12 000	9 400	
R-509A	R-22/218 (44,0/56,0)	124	-40,4/-40,4	0,38	NA	A1	5 800	6 100	0,01
R-510A	R-E170/600a (88,0/12,0)	47,2	-25,2/-25,2	0,087	0,056	A3	3,3	9,8	
R-511A	R-290/152a (95,0/5,0)	44,8	-42,18/-42,1	0,092	0,038	A3	12	44	
R-512A	R-134a/152a (5,0/95,0)	67,2	-24,0/-24,0	0,14	0,124	A2	210	710	
R-513A	R-1234yf/134a (56/44)	108,4	-29,2			A1	600	1 700	





# A propos du programme ActionOzone du PNUE

Dans le cadre du Protocole de Montréal sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone, les pays du monde entier prennent des mesures spécifiques, selon un calendrier donné pour réduire et éliminer la production et la consommation de produits chimiques synthétiques qui détruisent la couche d'ozone stratosphérique, le bouclier de protection de la Terre.

L'objectif du Protocole de Montréal sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone (SAO), qui comprennent les CFC, les halons, le bromure de méthyle, le tétrachlorure de carbone, le méthylchloroforme et des HCFC. Cent quatre-vingt-dix-sept pays ont signé cet accord environnemental multilatéral et prennent des mesures.

La branche ActionOzone du PNUE DTIE vient en aide aux pays en développement et en transition afin de leur permettre de parvenir à se conformer au protocole de Montréal et à maintenir ces résultats. Avec l'aide de notre programme, ces pays sont en mesure de prendre des décisions éclairées dans leur choix des technologies alternatives, de politiques inoffensives pour la couche d'ozone, et dans les mesures d'application de ces politiques.

ActionOzone travaille essentiellement dans deux domaines :

- L'aide aux pays en développement, dans le cadre du mandat donné au PNUE en tant qu'agence d'exécution du Fonds multilatéral pour la mise en oeuvre du protocole de Montréal, au moyen du Programme d'aide à la mise en conformité.
- Les partenariats avec des agences bilatérales et des gouvernements.

Les partenariats du PNUE dans le cadre du protocole de Montréal contribuent à la réalisation des Objectifs de développement du Millénaire et à la mise en oeuvre du Plan stratégique de Bali.

## *Pour plus d'informations*

Dr. Shamila Nair-Bedouelle, Chef de service, Branche ActionOzone,  
PNUE DTIE

1 rue Miollis, Batiment VII, 75015 Paris, France

Tel: +331 4437 1455, Fax: +331 4437 1474

Email: [shamila.nair-bedouelle@unep.org](mailto:shamila.nair-bedouelle@unep.org)

Web: <http://www.unep.org/ozonaction/>



## A propos de la Division Technologie, Industrie et Economie du PNUE

Etablie en 1975, trois ans après la création du PNUE, la Division Technologie, Industrie et Economie (DTIE) fournit des solutions aux décideurs politiques et aide à transformer le milieu des affaires en offrant des plateformes de dialogue et de coopération, des options politiques innovantes, des projets pilotes et des mécanismes de marché créatifs.

La Division joue un rôle de premier plan dans trois des six priorités stratégiques du PNUE:

- > le changement climatique,
- > les substances nocives
- > et les déchets dangereux, et
- > l'utilisation efficace des ressources.

### De Paris, le bureau de direction coordonne les activités menées par:

- > **Le Centre international d'éco-technologie - IETC** (Osaka, Shiga), qui assure la collecte et la dissémination des connaissances sur les technologies respectueuses de l'environnement, avec un focus sur la gestion des déchets. L'objectif général est favoriser la conversion des déchets en ressources et de réduire ainsi les impacts sur la santé et sur l'environnement (terre, eau et air).
- > **La Branche Production et Consommation** (Paris), qui encourage des modes de consommation et de production durables afin de contribuer au développement de la société par le marché.
- > **La Branche Substances chimiques** (Genève), qui catalyse les efforts mondiaux destinés à assurer une gestion des produits chimiques respectueuse de l'environnement et à améliorer la sécurité relative à ces produits dans le monde.
- > **La Branche Energie** (Paris et Nairobi), qui favorise des politiques de développement durable en matière énergétique et de transport et encourage les investissements dans les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.
- > **La Branche Action Ozone** (Paris), qui, dans le cadre du Protocole de Montréal, soutient les programmes d'élimination progressive des substances appauvrissant la couche d'ozone dans les pays en développement et les pays en transition.
- > **La Branche Economie et Commerce** (Genève), qui aide les pays à intégrer les considérations d'ordre environnemental dans les politiques économiques et commerciales et mobilise le secteur financier pour intégrer le développement durable dans ses stratégies. Ce service produit également des rapports sur l'économie verte.

*La Division collabore avec de nombreux partenaires (agences et programmes des Nations Unies, organisations internationales, organisations non gouvernementales, entreprises, médias et grand public) pour mener des opérations de sensibilisation, et pour assurer le transfert d'information et de connaissances, le renforcement des capacités, l'appui à la coopération technologique, ainsi que la mise en oeuvre des conventions et accords internationaux.*

Pour en savoir plus  
[www.unep.org/dtie](http://www.unep.org/dtie)

[www.unep.org](http://www.unep.org)

United Nations Environment Programme  
P.O. Box 30552 Nairobi, Kenya  
Tel.: ++254-(0)20-762 1234  
Fax: ++254-(0)20-762 3927  
E-mail: [unepubb@unep.org](mailto:unepubb@unep.org)



Pour plus d'informations, veuillez contacter :

**PNUE DTIE**

**Branche ActionOzone**

**1 rue Miollis, 75015 Paris 15, France**

**Tel: +33144371450**

**Fax: +33144371474**

**[ozonation@unep.org](mailto:ozonation@unep.org)**

**[www.unep.org/ozonation](http://www.unep.org/ozonation)**

*Nombreux sont les fluides réfrigérants alternatifs aux Hydrochlorofluorocarbures (HCFC) qui ont des caractéristiques particulières en termes de toxicité, d'inflammabilité et de hautes pressions, bien différentes de celles de fluides utilisés précédemment. Il est donc très important que le secteur du froid et de la climatisation s'adapte à la fois aux problèmes techniques et aux questions de sécurité que posent ces réfrigérants. Cet ouvrage fait un tour d'horizon de ces fluides alternatifs, de leurs caractéristiques générales et de leurs applications sous l'angle des questions de sécurité. Il donne aux Bureaux nationaux de l'ozone (BNO) et d'autres parties intéressées dans les pays en développement des lignes directrices pour leur tâche de conseil et d'assistance aux parties prenantes nationales de leur pays pour les choix et la mise en application des réfrigérants alternatifs.*



**Multilateral Fund**  
for the Implementation of the Montreal Protocol