



**FLUIDES FRIGORIGÈNES
NATURELS ET INFLAMMABLES**

MANUEL DE FORMATION

**Les bonnes pratiques de service
en réfrigération et climatisation**

**FLUIDES FRIGORIGÈNES
NATURELS ET INFLAMMABLES**

MANUEL DE FORMATION

**Les bonnes pratiques de service
en réfrigération et climatisation**



Publié par

L'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE)

L'Organisation de Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUUDI).

Projet

Projet de Gestion d'Élimination des HCFC (PGEH)

Activités habilitantes liées à l'Amendement de Kigali au Protocole de Montréal en Tunisie.

Chargés du projet et assistance

Mr. Youssef Hammami (ANPE)

Mr. Adnan Atwa (ONUUDI)

Mr. Andrés Celave (ONUUDI)

Mme. Rodica Ivan (ONUUDI)

Mme. Regina Vellmer (ONUUDI)

Mme. Franziska Menten (ONUUDI)

Auteur

Mr. Vasil Eftimov (Expert International en Réfrigération et Climatisation).

Revue

Mr. Youssef Hammami (ANPE)

Mr. Andrés Celave (ONUUDI)

Financement

Ce module de formation sur les fluides frigorigènes naturels et inflammables est financé par le Gouvernement Italien et par le Fonds Multilatéral pour la mise en œuvre du Protocole de Montréal.

Clause de non-responsabilité

Les opinions exprimées par l'auteur ne représentent pas nécessairement.

la décision ou la politique déclarée de l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE), ni de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUUDI).

Les informations contenues dans cette publication sont à titre indicatif sur des questions d'intérêt et peut être sujet à changement sans préavis. Bien que nous ayons tenté d'assurer que les informations ont été obtenues de sources fiables, l'ANPE et l'ONUUDI ne sont pas responsables de toute erreur ou omission. Toutes les informations sont fournies sans garantie d'exhaustivité, d'exactitude et sans garantie de toute nature, expresse ou implicite.

Copyright

Cette publication peut être reproduite en tout ou en partie pour des finalités éducatives ou à but non lucratif sans autorisation spéciale du titulaire du droit d'auteur, à condition d'indiquer dûment la source d'information.

Date

Janvier 2021

LISTE DES MATIÈRES

PRÉFACE	10
I.1. INTRODUCTION: HISTORIQUE DE LA RÉFRIGÉRATION ET DES FLUIDES FRIGORIGÈNES NATURELS ET INFLAMMABLES COURAMMENT UTILISÉS	12
I.2. CODES ET NORMES	15
I.3. MANIPULATION SANS RISQUES DES FLUIDES FRIGORIGÈNES NATURELS ET INFLAMMABLES.....	19
I.3.1 CLASSIFICATION DE SÉCURITÉ DES FLUIDES FRIGORIGÈNES	19
I.3.2 CLASSIFICATION DE L'ESPACE D'OCCUPATION	19
I.3.3 TYPES DE SYSTÈME	20
I.3.4 TRIANGLE DE FEU	21
I.3.5 ZONE INFLAMMABLE TEMPORAIRE.....	24
I.3.6 LIMITATION DE CHARGE	24
I.3.7 ASPHYXIATION ET TOXICITÉ	25
I.3.8 MANIPULATION ET STOCKAGE	25
I.3.9 L'ÉQUIPEMENT DE PROTECTION INDIVIDUELLE	26
I.4. TRAVAILLER AVEC DES FLUIDES FRIGORIGÈNES NATURELS ET INFLAMMABLES	26
I.4.1 ÉVALUATION DES RISQUES	26
I.4.2 DIFFÉRENCES DE PROCÉDURE DE SERVICE	28
I.4.3 TRAVAILLER AVEC DES FLUIDES FRIGORIGÈNES INFLAMMABLES	29
I.4.3.1 ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL SÛR ET ÉQUIPEMENT DE PROTECTION INDIVIDUELLE	29
I.4.3.2 OUTILS ET ÉQUIPEMENT D'ENTRETIEN POUR LES FLUIDES FRIGORIGÈNES INFLAMMABLES	29
I.4.3.3 L'ENTRETIEN DES ÉQUIPEMENTS FONCTIONNANT AVEC DES FLUIDES FRIGORIGÈNES INFLAMMABLES.....	31
I.4.4 TRAVAILLER AVEC L'AMMONIAC (R-717)	34
I.4.4.1 ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL SÉCURISÉ ET ÉQUIPEMENT DE PROTECTION INDIVIDUELLE	34
I.4.4.2 OUTILS ET ÉQUIPEMENT DE SERVICE POUR R-717	34
I.4.4.3 ENTRETIEN DES ÉQUIPEMENTS FONCTIONNANT AVEC R-717.....	34
I.4.5 TRAVAILLER AVEC LE DIOXYDE DE CARBONE (R-744)	36
I.4.5.1 ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL SECURISE ET ÉQUIPEMENT DE PROTECTION INDIVIDUELLE	36
I.4.5.2 OUTILS ET ÉQUIPEMENTS D'ENTRETIEN POUR R-744	37
I.4.5.3 ENTRETIEN DES ÉQUIPEMENTS FONCTIONNANT AVEC LE R-744	37
I.5. PERFORMANCE D'UN SYSTÈME UTILISANT DES FLUIDES FRIGORIGÈNES NATURELS ET INFLAMMABLES	40

LISTE DES ACRONYMES

AC :	Conditionneur d'air (Air Conditionner)
COP :	Coefficient de Performance
EPI :	Equipements de protection individuelle
FDS :	Fiche de données de sécurité
GPL :	Gaz du pétrole liquéfié
HC :	Hydrocarbures
HFC :	Hydrofluorocarbones
HFO :	Hydrofluorooléfine
HP :	Pompe à chaleur (Heat Pump)
LFL:	Limite inférieure d'inflammabilité indiquée dans la norme EN378-1
LETA:	Limite d'exposition à la toxicité aigue
LPO :	Limite de privation d'oxygène, comme indiquée dans la norme EN378-1.
MAC :	Conditionnement d'air mobile
PAO :	Pouvoir d'appauvrissement d'ozone
PL :	Limite pratique répertoriée dans la norme EN378-1
PRG :	Pouvoir de réchauffement global
RAC :	Réfrigération et conditionnement d'air (Refrigeration and Air Condionning)
RACHP :	Réfrigération, conditionnement d'air et pompe à chaleur
R-290 :	Propane (C ₃ H ₈)
R-717 :	Ammoniac (NH ₃)
R-744 :	Dioxyde de carbone (CO ₂)
VRV :	Volume de réfrigérant variable
VRF :	Flux variable de réfrigérant

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n°1:	14
Possibilités d'utilisation des fluides frigorigènes naturels et inflammables dans différents systèmes de réfrigération	
Tableau n°2:	16
Champ d'application des différentes normes de sécurité internationales et régionales pour les systèmes RACHP	
Tableau n°3:	17
Portée des différentes normes internationales et nationales pour les fluides frigorigènes	
Tableau n°4:	18
Connexion entre les normes ISO5149 (EN378) et EN13313 dans l'ensemble du personnel impliqué	
Tableau n°5:	22
Classification d'inflammabilité	
Tableau n°6:	23
Informations de sécurité pour les fluides frigorigènes naturels et les HFO couramment utilisés	
Tableau n°7:	27
Dangers des fluides frigorigènes de substitution par rapport au R-404A	
Tableau n°8:	28
Différences de procédures de services	
Tableau n°9:	42
Comparaison des performances des fluides frigorigènes naturels, des HC par rapport au R-404A	

LISTE DES FIGURES

Figure n°1:	13
Histoire de la réfrigération et mesures internationales et nationales	
Figure n°2:	19
Classification de sécurité des fluides frigorigènes selon la norme ISO817	
Figure n°3:	20
Exemple de système de réfrigération directe	
Figure n°4:	20
Exemple de système de réfrigération indirecte	
Figure n°5:	21
Représentation de la sévérité des exigences de sécurité en fonction de l'espace occupé et du type de système	
Figure n°6:	21
Triangle de feu	
Figure n°7:	22
Plage d'inflammabilité pour les HCs, A2L et R-717 (B2L)	
Figure n°8:	24
Zone inflammable temporaire pour les petits appareils	
Figure n°9:	25
Cylindres de fluides frigorigènes rechargeables	
Figure n°10:	26
Équipement de protection individuelle	
Figure n°11:	29
Ventilateur adapté	
Figure n°12:	29
Détecteur personnel de HC	
Figure n°13:	29
Extincteur au CO ₂ et à la poudre sèche	

LISTE DES FIGURES (suite)

Figure n°14:	30
Machine de récupération pour utilisation avec les HC, R-32, HFO	
Figure n°15:	31
Détecteur de fuite électronique adapté aux HC	
Figure n°16:	31
Cylindre rechargeable et non rechargeable	
Figure n°17:	31
Contrôle et surveillance de la charge de fluide frigorigène	
Figure n°18:	34
Exemple d'appareil respiratoire	
Figure n°19:	34
Pompe à vide adaptée pour une utilisation avec le R-717	
Figure n°20:	34
Exemple de pompe à l'ammoniac	
Figure n°21:	36
Propriétés importantes du CO ₂ en tant que fluide frigorigène	
Figure n°22:	37
Exemple de tuyaux et de groupe manométrique (manifold) pour travailler avec le CO ₂	
Figure n°23:	38
Exemple de glace sèche et d'humidité dans le filtre déshydrateur	
Figure n°24:	39
Exemple de connexion et de charge d'unité de CO ₂	
Figure n°25:	40
Exemple de détecteur électronique	
Figure n°26:	41
Considération pour la sélection du fluide frigorigène naturel pour certaines applications	

PRÉFACE

Les fluides frigorigènes fluorés couramment utilisés (CFCs, HCFCs & HFCs) sont développés et utilisés depuis quelques décennies, mais leurs impacts sur l'environnement sont devenus un enjeu majeur. En effet, de par la présence de fuites au niveau du circuit frigorifique, la responsabilité de ces fluides dans la destruction de la couche d'ozone et l'augmentation de la température moyenne de la planète n'est plus à démontrer.

Ces fluides frigorigènes sont contrôlés par le Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, et dont les fluides de type CFC (R-11, R-12, R-502, etc.) ont été totalement éliminés en 2010, et les fluides de types HCFC (R-22, R-123, etc.) sont en voie d'élimination progressive (élimination totale d'ici 2030). Les fluides frigorigènes de types HFC (R-134a, R-404A, R-410A, etc.) qui sont classés parmi les gaz à effet de serre présentant des puissants pouvoirs de réchauffement global, leurs usages seront réduits de 80 % d'ici 2045 selon le calendrier de réduction progressive des HFC tel que approuvé par l'amendement de Kigali au Protocole de Montréal, qui a entré en vigueur le premier janvier 2019.

Pour y remédier à ces problèmes environnementaux, les fluides frigorigènes naturels sont devenus la solution radicale dans le secteur de la réfrigération et de la climatisation. Cependant, les usages de ces nouveaux fluides frigorigènes naturels présentent des risques de sécurité, dû à leur toxicité et/ou inflammabilité, si aucune mesure de sécurité n'est prise.

Ce module de formation est élaboré dans le but de renforcer les capacités techniques des techniciens opérant dans le secteur de la réfrigération et de la climatisation, en vue d'adopter les bonnes pratiques de manipulation et de gestion sans risques des fluides frigorigènes naturels ainsi que des équipements fonctionnant avec ces fluides.



Dans ce module, les techniciens de service obtiendront des informations sur les aspects techniques suivants :

- Introduction - historique de la réfrigération et des fluides frigorigènes naturels et inflammables couramment utilisés,
- Codes et normes applicables à ces substances,
- Manipulation sans risque des fluides frigorigènes naturels,
- Travailler avec des fluides frigorigènes naturels,
- Performances des systèmes utilisant des fluides frigorigènes naturels.

Je vous invite à lire le contenu de ces pages pour mieux comprendre et suivre les conseils techniques en matière de manipulation sans risques des fluides frigorigènes naturels, et de suivre les activités menées par l'Unité Nationale d'Ozone à l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE), notamment les actions développées pour le secteur de services d'installation et maintenance (ateliers, séminaires, formations, la future certification, etc.) pour une gestion durable des fluides frigorigènes de types HCFC et HFC et l'adoption des nouvelles technologies émergentes se basant sur les fluides frigorigènes naturels.

J'encourage aussi, les femmes actrices dans le secteur de la réfrigération et de la climatisation de s'intégrer au programme national de gestion durable des fluides frigorigènes usuels et naturels et de travailler ensemble pour le futur de ce secteur.

Youssef HAMMAMI

Coordinateur de l'Unité Nationale
d'Ozone de Tunisie

LES FLUIDES FRIGORIGENES NATURELS ET INFLAMMABLES

I.1. INTRODUCTION - HISTORIQUE DE LA RÉFRIGÉRATION ET DES FLUIDES FRIGORIGENES NATURELS ET INFLAMMABLES COURAMMENT UTILISÉS

Au départ, lorsque le concept de système de réfrigération moderne a été développé au milieu du XIX^{ème} siècle, un petit nombre de fluides étaient utilisés comme fluide de travail, ou «fluide frigorigène». Il s'agissait notamment de l'ammoniac, du dioxyde de carbone, du dioxyde de soufre, du chlorure de méthyle (R-40) et de l'éther éthylique. L'utilisation du R-744 et du R-290 a été déclinée lors de l'introduction des CFC et des HCFC. Le R-717 a continué à être utilisé dans les systèmes industriels. Au cours des années 1980, on a découvert que les substances chimiques utilisées dans la réfrigération, les agents gonflants, les solvants, etc. contribuaient à l'appauvrissement de la couche d'ozone. La prise de mesures concernant ces substances a conduit à l'élaboration du protocole de Montréal en 1987 - l'accord environnemental universel et multilatéral le plus réussi à ce jour. L'élimination progressive des substances appauvrissant la couche d'ozone a introduit l'utilisation de solutions de remplacement à ces substances, principalement les hydrofluorocarbones (HFC). Une partie de l'industrie est revenue à l'utilisation des hydrocarbures (HC) et du dioxyde de carbone (R-744) dans certaines applications (le R-600a était utilisé dans les réfrigérateurs domestiques et le R-744 dans les systèmes de réfrigération de détail). Comme alternatives aux fluides frigorigènes à fort pouvoir de réchauffement global (PRG), certaines industries ont commencé à utiliser des HFO (HFO : hydrofluorooléfines - composés organiques insaturés). Par exemple, à partir du 1^{er} janvier 2017, les nouvelles unités de climatisation mobiles (Mobile Air Conditioning : MAC) utilisent le HFO-1234yf comme fluide frigorigène avec un PRG égal à 4.

Bien que les HFC n'aient pas de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (PAO), une utilisation plus large de ces fluides frigorigènes entraîne un autre impact environnemental - le réchauffement climatique, car ils ont un potentiel de réchauffement global (PRG) élevé. Une fois de plus, il fallait agir et l'adoption de l'amendement de Kigali au protocole de Montréal permettra de réduire progressivement l'utilisation de ces fluides frigorigènes. Les fluides frigorigènes acceptables dans un avenir proche seront les fluides frigorigènes qui ont un PAO nul et un PRG inférieur à 150 (fluides frigorigènes à faible PRG).

La figure ci-dessous, présente les groupes de fluides frigorigènes les plus couramment utilisés pendant cette période.

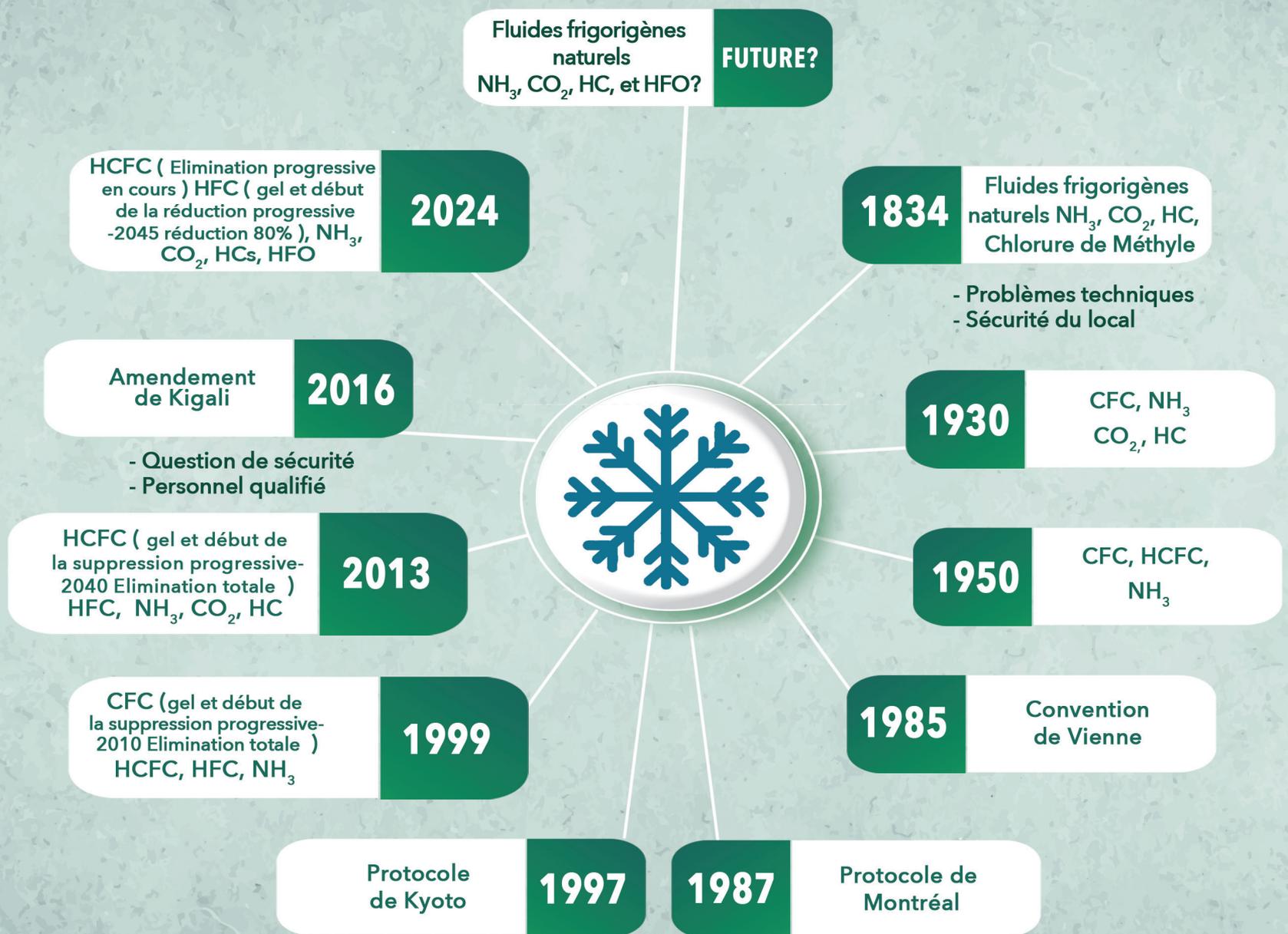


Figure n°1 Histoire de la réfrigération et mesures internationales et nationales

Tableau n°1: Possibilités d'utilisation des fluides frigorigènes naturels et inflammables dans différents systèmes

Application fluides frigorigènes	Usine centrale	Refroidisseurs	Unités de condensation à distance	Systèmes VRV ¹ / VRF ²	Unités de Split AC /Pompes à chaleur	Intégrés ³
R-744	Vert	Vert	Vert	Jaune	Jaune	Jaune
R-717	Vert	Vert	Rouge	Rouge	Rouge	Jaune
R-600a	Rouge	Jaune	Rouge	Rouge	Jaune	Vert
R-290	Rouge	Vert	Rouge	Rouge	Jaune	Vert
R-1270	Rouge	Vert	Rouge	Rouge	Jaune	Vert
R-32 ⁴	Rouge	Vert	Jaune	Jaune	Vert	Vert
R-1234ze	Rouge	Vert	Jaune	Jaune	Vert	Vert
R-1234yf	Rouge	Vert	Jaune	Jaune	Vert	Vert

Le tableau indique le type de système pour lequel le fluide frigorigène est le plus approprié. Il n'indique pas où ces fluides frigorigènes sont effectivement utilisés.

1-VRV – Volume de fluide frigorigène variable

2-VRF –Flux variable de fluide frigorigène

3-Intégrés-Unités de réfrigération autonomes (réfrigérateurs, domestiques, petites vitrines,unités d'emballage,etc..)

4-R-32 figure dans ce tableau parce qu'il est largement répandu dans les nouveaux split AC, les refroidisseurs et les pompes à chaleur bien qu'il ne soit plus considéré comme un fluide frigorigène à faible PRG avec la limite du PRG fixée à 150 (PRG=675 bien au-dessus de la limite de 150)



■ Vert - ces systèmes sont adaptés au type de fluide frigorigène indiqué, et la taille de la charge est généralement dans les limites spécifiées dans la norme EN378. Certaines modifications de conception sont nécessaires, par exemple pour les appareils électriques et/ou la ventilation.

■ Jaune - ces systèmes peuvent être et sont utilisés avec le type du fluide frigorigène indiqué, mais il existe des restrictions en raison de la charge maximale ou de la limite pratique⁵ spécifiée dans la norme EN378. Certaines modifications de conception sont nécessaires, par exemple pour les appareils électriques et/ou la ventilation. Dans certains cas, la capacité volumétrique du fluide frigorigène signifie qu'il n'est pas idéal pour l'application.

■ Rouge- ces systèmes ne doivent pas être utilisés avec le type de fluide frigorigène indiqué, généralement parce que la taille de la charge dépasse le maximum spécifié dans la norme EN378-1.

1.2. CODES ET NORMES

L'amendement de Kigali a renforcé la dynamique en faveur des applications qui utiliseront des fluides frigorigènes à faible PRG et accélère l'innovation pour les technologies de Réfrigération, Conditionnement d'Air et Pompes à Chaleur (RACHP) durables. L'une des questions clés pour la mise en œuvre de l'amendement de Kigali est le remplacement du HCFC-22 et des HFC à fort PRG par des fluides frigorigènes à faible PRG.

Depuis l'adoption de l'amendement de Kigali au Protocole de Montréal sur la réduction progressive des HFC, on observe une tendance significative à utiliser les fluides frigorigènes naturels et les HFO comme alternatives à faible potentiel de réchauffement global (PRG) aux substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO) et aux hydrofluorocarbures (HFC) conventionnels à PRG plus élevé.

Les principaux obstacles à une utilisation plus large des fluides frigorigènes à faible PRG (fluides frigorigènes naturels et HC) comme alternatives sont les questions de sécurité, car ces fluides frigorigènes sont inflammables ou toxiques, et la disponibilité du personnel qualifié.

Premier obstacle: Les questions de sécurité conduisent à l'amélioration des normes existantes et à l'introduction de nouvelles normes qui couvrent la conception, la fabrication, l'installation, la maintenance et la mise hors service des équipements qui fonctionneront avec ces fluides frigorigènes.

Au niveau international, les normes ont été révisées ou sont en cours de révision pour s'adapter au nouveau cadre réglementaire conformément à l'amendement de Kigali, en particulier l'utilisation des fluides frigorigènes naturels et des HC comme substitut des HFC. Les principales normes de sécurité des groupes et des produits pour la réfrigération, la climatisation et les pompes à chaleur (RACHP) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

⁵ La limite pratique pour le fluide frigorigène représente la concentration utilisée pour un calcul simplifié pour déterminer la quantité maximale acceptable de fluide frigorigène dans un espace occupé. Il est basé sur la toxicité ou l'inflammabilité. Pour des informations complètes, voir EN378 Partie 1 - Tableau E.1.

Tableau n°2: Champ d'application des différentes normes de sécurité internationales et régionales pour les systèmes RACHP¹⁰

Secteur	Normes de sécurité des groupes ISO5149:2014 ⁶				Normes de sécurité des produits					
	ISO 5149-part 1	ISO 5149-part 2	ISO 5149-part 3	ISO 5149-part 4	IEC 60335 -2-11	IEC 60335 -2-24	IEC 60335 -2-40	IEC 60335 -2-89	ISO 13043 ⁷	ISO 20854 ⁸
Réfrigération domestique	√	√	√	√		√				
Réfrigération commerciale	√	√	√	√				√		
Systèmes industriels	√	√	√	√						
Refrigeration des transports	√	√	√	√						
Climatiseurs air-air & pompes à chaleur	√	√	√	√			√			
Pompes à chaleur pour le chauffage de l'eau	√	√	√	√			√			
Sèche -linge à pompe à chaleur	√	√	√	√	√					
Refroidisseurs	√	√	√	√			√			
Climatisation des véhicules				√ ⁹					√	
Conteneurs frigorifiques	√	√	√	√						√

6- ISO5149: 2014 (les quatre parties) est une norme internationale publiée par l'ISO. La norme européenne correspondante est EN378: 2016 (les quatre parties) et ces deux normes sont complètement synchronisées. La norme nationale tunisienne est NT 81.222 (1993) - correspondant à ISO5149: 1993. Cette norme est complètement dépassée.

7- L'ISO 13043 ne couvre que le R-134a, le R-744 et le R-1234yf, donc tous les autres fluides frigorigènes alternatifs sont hors du champ d'application.

8- ISO 20854 Récipients thermiques - Norme de sécurité pour les systèmes de réfrigération utilisant des fluides frigorigènes inflammables - Recommandations Exigences pour la conception, publiée en 2019.

9- L'ISO 5149-1 et l'ISO 5149-2 excluent spécifiquement les systèmes de climatisation mobile (MAC) de son champ d'application, et l'ISO 5149-3 ne s'applique pas au MAC.

10- R / AC & HP - Réfrigération, climatisation et pompes à chaleur.

Les normes mentionnées dans le tableau ci-dessus, concernent la conception, la fabrication, l'installation, la maintenance et la mise hors service d'équipements et de systèmes utilisant des fluides frigorigènes.

Les normes qui couvrent les fluides frigorigènes eux-mêmes sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°3: Portée des différentes normes internationales et nationales pour les fluides frigorigènes

Référence de la norme	Titre	Niveau de la norme
ISO 817:2014 ¹¹	Fluides frigorigènes — Désignation et classification de sécurité	International
ISO 17584:2005	Propriétés du fluide frigorigène (cette norme a été révisée et confirmée pour la dernière fois en 2014. ainsi cette version reste donc d'actualité)	International
ANSI/ASHRAE 34-2019	Désignation et classification de sécurité des fluides frigorigènes	Nationale (industrie)

Le travail avec les fluides frigorigènes utilisés actuellement (principalement le HCFC-22 et un large spectre des fluides frigorigènes HFC) nécessite un personnel qualifié. La mise en place d'un système national de certification est une étape très importante qui devrait réduire les fuites des systèmes existants (en réduisant la demande de fluides frigorigènes pour les besoins de l'entretien), et une bonne maintenance devrait permettre de faire fonctionner l'équipement en fonction de la consommation d'énergie prévue.

La norme Européenne EN13313:2010¹² - Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur - Compétence du personnel spécifie les activités liées aux circuits de réfrigération et les profils de compétence associés et établit les procédures d'évaluation de la compétence des personnes qui exercent ces activités.

Les principaux obstacles à une utilisation plus large des fluides frigorigènes naturels et des HC sont les questions de sécurité et le personnel qualifié. Comme il est présenté, les principales normes couvrant les questions de sécurité sont les quatre parties de la norme ISO 5149:2014 (EN 378 :2016) et la compétence du personnel est couverte par la norme EN13313:2010.

11- La norme nationale tunisienne est NT 81.03 (1983) - correspondant à ISO817: 1974. Cette norme est complètement dépassée.

12- L'organisation internationale de normalisation ISO élabore actuellement une norme ISO/DIS 22712. Les annexes D,E et F, devraient inclure des exigences (informatives) pour l'évaluation du personnel travaillant avec des fluides des frigorigènes naturels et des HC.

Le tableau ci-dessous, présente le lien entre ces deux normes par le biais des individus qui participent à certaines opérations.

Tableau n°4 Connexion entre les normes ISO5149 (EN378) et EN13313 dans l'ensemble du personne impliqué

ISO 5149 (EN378)		Partie 1	Partie 2	Partie 3	Partie 4
Personnes intéressées	Concepteur d'installations et d'équipements				
	Fabricant d'installations et d'équipements				
	Installateur d'installations et d'équipements				
	Personnel de service de maintenance				
	Bâtiment/Propriétaire de l'installation/ Operateur / Directeur				
	Concepteur de bâtiments				

ACTIVITÉ DE CYCLE DE VIE INTÉRESSÉE Activité selon la norme EN13313 :2010 Compétence du personnel	Conception				
	Pre-assemblage				
	Installation				
	Mise en fonctionnement				
	Mise en service				
	Mise en exploitation				
	Inspection en service				
	Contrôle des fuites				
	Maintenance générale				
	Maintenance des circuits				
	Mise hors service				
	Retrait du fluide frigorigène				
	Démantèlement				

I.3. MANIPULATION SANS RISQUES DES FLUIDES FRIGORIGÈNES NATURELS ET INFLAMMABLES

I.3.1. Classification de sécurité des fluides frigorigènes

Les fluides frigorigènes sont classés en fonction de deux critères généraux de sécurité :

- Inflammabilité
- Toxicité

La classification est donnée avec une caractéristique alphanumérique.

La lettre majuscule correspond à la toxicité (en gradation) et le chiffre à l'inflammabilité. En gros, cela signifie que la lettre «A» correspond à une faible toxicité et la lettre «B» à une toxicité élevée. Aucun fluide frigorigène n'est classé comme non toxique.

La classification d'inflammabilité peut être marquée comme «1», ce qui signifie qu'il n'y a pas de propagation de la flamme. Une faible inflammabilité est indiquée par «2» et une inflammabilité plus élevée par «3».

AUGMENTATION DE L'INFLAMMABILITÉ ↑	Inflammabilité plus élevée	A3	B3
	Inflammable	A2	B3
	Aucune propagation de flamme	A2L*	B2L*
	Aucune propagation de flamme	A1	B1
		Basse (chronique) toxicité	Toxicité (chronique) plus élevée
		AUGMENTATION DE L'INFLAMMABILITÉ →	

Figure n°2
Classification de sécurité des fluides frigorigènes selon la norme ISO817

I.3.2 Classification de l'espace d'occupation

En ce qui concerne la sécurité d'utilisation des fluides frigorigènes et les limites d'utilisation des fluides frigorigènes dans certaines applications, la norme internationale ISO 5149:2014 (synchronisée avec la norme européenne EN 378-1:2016), outre la classification de sécurité des fluides frigorigènes, introduit d'autres critères qui doivent être pris en considération lors du choix des fluides frigorigènes, en fonction des espaces d'occupation.

Les locaux sont classés en fonction de la sécurité des personnes, qui peuvent être directement touchées en cas de fonctionnement anormal du système de réfrigération. La prise en compte de la sécurité des systèmes de réfrigération tient compte du site, du nombre de personnes occupant le site et des catégories d'occupation. Les salles des machines sont considérées comme inoccupées.

Selon cette norme, il existe trois catégories d'occupations :

Endroit public - Class A

Un endroit où les gens peuvent dormir ou être présent et n'est pas contrôlé ou auquel toute personne a accès sans être personnellement au courant des mesures de sécurité personnelles.

EXEMPLES: Hôpitaux, prisons, maisons de retraite médicalisées, théâtres, supermarchés, terminaux de transport, hôtels, amphithéâtres, logements, restaurants, centres commerciaux, patinoires, compartiments de véhicules, etc.

Endroit surveillé - Class B

Les chambres, parties de bâtiment ou bâtiments, où un nombre restreint de personnes peut se rassembler, certains d'entre eux étant nécessairement familiers avec la précaution générale de sécurité.

EXEMPLES: Laboratoires, lieux de production, usines de transformation, immeubles de bureaux, etc.

Endroit avec accès autorisé uniquement - Classe C

Un endroit qui n'est pas ouvert au public et où seules les personnes autorisées peuvent y accéder. Les personnes autorisées doivent connaître les précautions générales de sécurité de l'établissement (par exemple installations de production industrielle).

EXEMPLES: Entrepôts frigorifiques, raffineries, abattoirs, zones non publiques dans les supermarchés, installations de fabrication, par exemple pour les produits chimiques, les aliments, la glace et la crème glacée.

1.3.3. Types de système

La norme internationale ISO5149-1: 2014 (synchronisée avec la norme Européenne EN 378-1 : 2016) définit les types de systèmes frigorifiques comme des systèmes directs et indirects. Ceci étant lié à l'endroit occupé est illustré dans les figures ci-dessous :

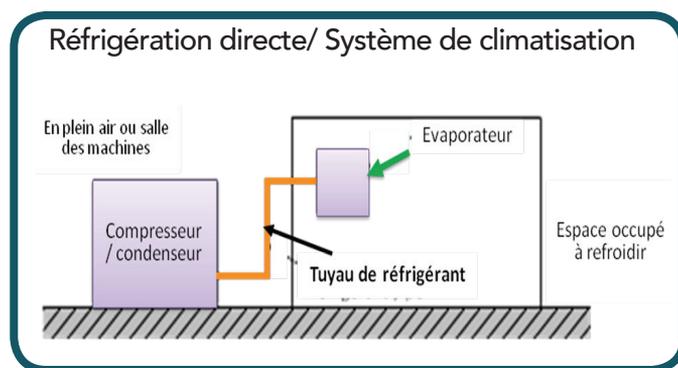


Figure n°3

Exemple de système de réfrigération directe

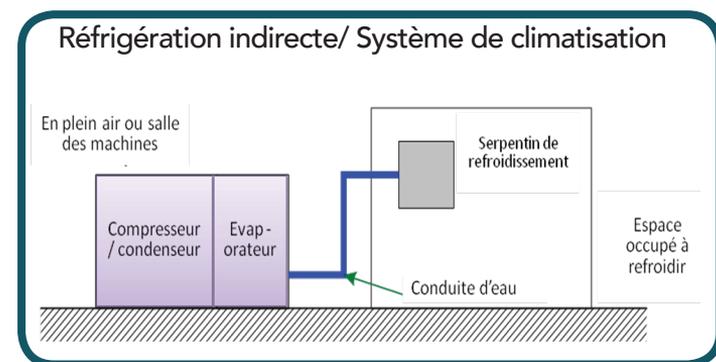


Figure n°4

Exemple de système de réfrigération indirecte

Quand on choisit un système de réfrigération, il faut toujours prendre en considération le type de système, l'objectif, l'endroit (espace d'occupation : espace d'occupation : occupation aléatoire¹³ ou non contrôlée, et occupation réglée ou contrôlée) ainsi que les exigences de sécurité.

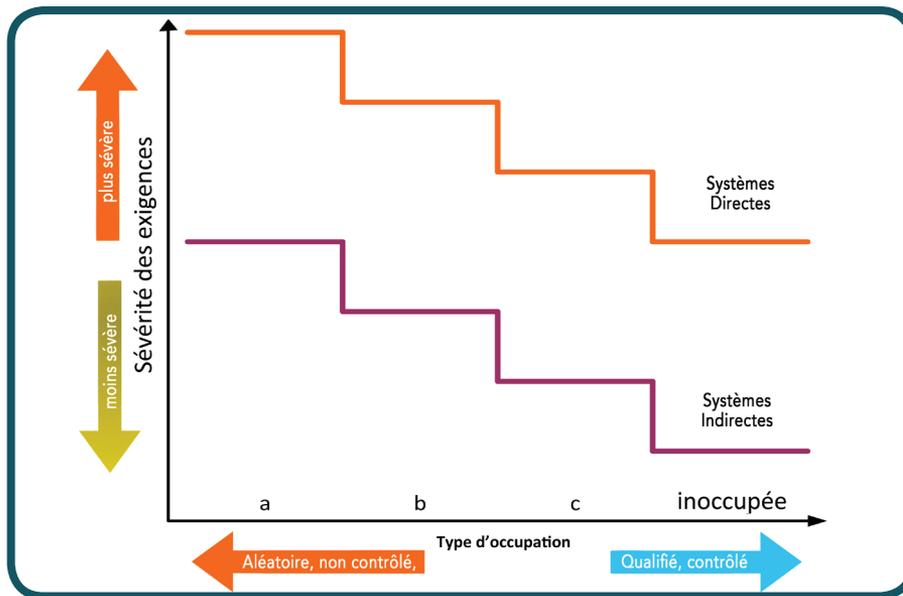


Figure n°5

Représentation de la sévérité des exigences de sécurité en fonction de l'espace occupé et du type de système

I.3.4. Triangle de feu

Trois conditions sont requises pour la combustion: le carburant, l'oxygène et une source d'ignition. Le feu peut survenir naturellement lorsque ces trois éléments sont simultanément présents dans les proportions appropriées.

Pour tous les fluides frigorigènes inflammables, la combustion se produira si la concentration de fluide frigorigène dans l'air se situe entre les niveaux inférieur et supérieur d'inflammabilité et s'il existe une source d'ignition.

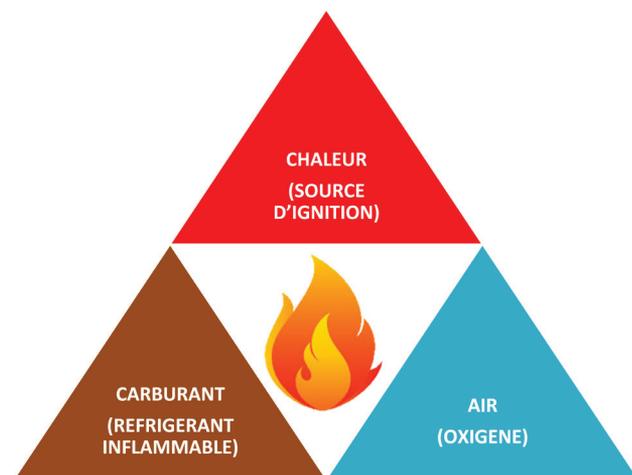


Figure n°6 Triangle de feu

13- Occupation aléatoire - Un endroit où des personnes peuvent être présentes ou dormir et n'est pas contrôlé, ou auquel toute personne a accès sans être personnellement au courant des précautions de sécurité personnelles. EXEMPLES: hôpitaux, prisons, maisons de retraite médicalisées, théâtres, supermarchés, terminaux de transport, hôtels, amphithéâtres, logements, restaurants, centres commerciaux, patinoires, compartiments de véhicules, etc.

- * **Limite inférieure d'inflammabilité (LFL)**= La concentration minimale du fluide frigorigène capable de propager une flamme.
- * **Limite supérieure d'inflammabilité (UFL)** = La concentration maximale du fluide frigorigène capable de propager une flamme.
- * **Température d'auto-inflammation** = La température la plus basse à laquelle un fluide frigorigène s'enflamme spontanément dans une atmosphère normale sans source externe d'ignition (flamme ou étincelle).

Tableau n°5: Classification d'inflammabilité

Classification de sécurité	Niveau d'inflammabilité inférieur, % de l'air en volume ¹⁴	Chaleur de combustion J/kg	Propagation de la flamme
A1	Aucune propagation de flamme lors des essais à 60° C et 101,3 kPa		
A2L	> 3,5	< 19.000	Propagation de la flamme lorsqu'ils sont testés à 60° C et 101,3 kPa et ont une vitesse de combustion maximale ≤ 10 cm /s lorsqu'ils sont testés à 23° C et 101,3 kPa
A2	> 3,5	< 19.000	Propagation de la flamme lors des essais à 60° C et 101,3 kPa
A3	≤ 3,5	≥ 19.000	Propagation de la flamme lors des essais à 60° C et 101,3 kPa

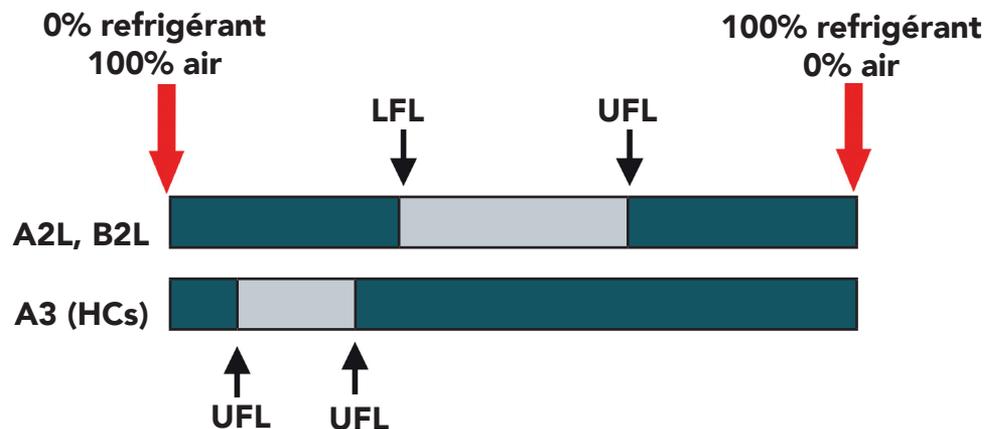


Figure n°7

Plage d'inflammabilité pour les HC, A2L et R-717 (B2L)

Tableau n°6: Informations de sécurité pour les fluides frigorigènes naturels et les HFO couramment utilisés

Fluide frigorigène	Classification de sécurité	LFL ¹⁵ kg/m ³	La température d'auto-inflammation °C	LP ¹⁶ kg/m ³ (Limite Pratique)	LETA /LPO ¹⁷ kg/m ³
R-744	A1	Pas applicable	Pas applicable	0.1	0,072
R-717	B2L	0.116	630	0,00035	0,00022
R-32	A2L	0,307	648	0,061	0,3
R-1234ze	A2L	0,303	368	0,061	0,28
R-1234yf	A2L	0,289	405	0,058	0,47
R-600a	A3	0,043	460	0,011	0,059
R-290	A3	0,038	470	0,008	0,09
R-1270	A3	0,047	455	0,008	0,0017

Le technicien d'entretien de la réfrigération et de climatisation (RAC) doit s'organiser et préparer les zones de travail pour éviter toutes les situations de risque d'incendie potentiel.

15- LFL (kg/m³) est la limite inférieure d'inflammabilité indiquée dans la norme EN378-1.

16- LP est la limite pratique répertoriée dans la norme EN378-1. Pour les frigorigènes A1, il s'agit de la concentration la plus élevée dans un espace occupé qui n'entraînera pas d'effets nuisibles liés aux fuites. Pour les fluides frigorigènes inflammables, il est d'environ 20% LFL.

17- LETA / LPO est la limite d'exposition à la toxicité aigue / limite de privation d'oxygène, comme indiqué dans la norme EN378-1. Il s'agit du niveau au-dessus duquel il y a un effet indésirable qui résulte d'une ou de plusieurs expositions dans un court laps de temps (généralement moins de 24 heures).

I.3.5. Zone inflammable temporaire

Une « ZONE INFLAMMABLE TEMPORAIRE » est à au moins 2 mètres du point dans toutes les directions pour les petits appareils. Pour les plus grands systèmes, une plus grande distance doit être autorisée (3 mètres au moins).

Les techniciens doivent toujours considérer les zones de travail comme des « zones inflammables temporaires » pendant l'installation et la maintenance. Cette zone doit être exempte de toutes sources d'inflammation (ignition).



Figure 8 Zone inflammable temporaire pour les petits appareils

I.3.6. Limitation de charge

La norme ISO 5149 (EN378) fournit des restrictions de taille de charge pour les équipements RACHP :

- **Tableau C.1** concerne les fluides frigorigènes dont la toxicité est le danger (risque) dominant, par exemple R-717 et R-744,
- **Tableau C.2** concerne les fluides frigorigènes dont l'inflammabilité est le danger dominant, par exemple les fluides frigorigènes de type HC et A2L.

La taille de charge maximale dépend de :

- Emplacement de l'équipement,
- Classification de l'espace occupé,
- Type de système.

Le technicien d'entretien RAC doit être informé de la limitation de la taille de charge maximale ou doit calculer la charge maximale autorisée conformément à la norme ISO 5149 (EN 378).

Le technicien d'entretien RAC doit s'assurer que la taille de charge réelle du fluide frigorigène dans le système RAC en cours d'installation / d'entretien ne dépasse pas la taille de charge maximale.

En 2019, la Commission électrotechnique internationale (CEI) a adopté des changements dans la norme CEI 60335-2-89¹⁸ et a augmenté les limites de charge de 150 à 500 grammes dans l'équipement de réfrigération commerciale autonome pour les fluides frigorigènes A3 et de 150 à 1200 grammes dans l'équipement de réfrigération commerciale autonome pour les fluides frigorigènes A2L.

18- CEI 60335-2-89 ED3: Appareils électrodomestiques et analogues - Sécurité - Partie 2-89: Règles particulières pour les appareils de réfrigération commerciale et les machines à glaçons avec un groupe frigorifique ou un moteur-compresseur incorporé ou à distance.

I.3.7. Asphyxie et toxicité

Tous les fluides frigorigènes sont des asphyxiants car ils déplacent l'air. L'inhalation de toute vapeur de fluide frigorigène en quantités suffisantes peut provoquer une asphyxie et une sensibilisation cardiaque et avoir un effet sur le système nerveux central. Ceux-ci, peuvent entraîner des étourdissements, une léthargie ou un rythme cardiaque irrégulier. Le risque d'asphyxie est engendré si une grande quantité est rejetée, en particulier dans une zone fermée telle qu'une chambre froide ou un local technique.

Le R-717 est toxique et a une limite pratique très basse (0,00035kg / m³). Le R-717 est irritant et corrosif.

Inhalation: L'exposition à des concentrations élevées provoque des brûlures immédiates du nez, de la gorge et des voies respiratoires. Cela peut entraîner une détresse respiratoire ou une défaillance. L'inhalation de concentrations plus faibles peut provoquer de la toux et une irritation du nez et de la gorge. L'odeur piquante du R-717 fournit un avertissement précoce de sa présence, mais l'exposition provoque également une fatigue olfactive, réduisant la conscience d'une exposition prolongée à de faibles concentrations.

Contact avec la peau: Une exposition à de faibles concentrations de R-717 peut provoquer une irritation cutanée ou oculaire rapide. Des concentrations plus élevées d'ammoniac peuvent provoquer des blessures graves et des brûlures. Le contact avec le R-717 liquide peut également provoquer des gelures, comme avec tous les fluides frigorigènes.

Produits de décomposition

Les HFC et les HFO forment des produits de décomposition toxiques lorsqu'ils sont brûlés, par exemple lorsqu'un fluide frigorigène A2L tel que le R-32 est enflammé par une flamme ouverte. Le fluorure d'hydrogène est produit qui forme de l'acide fluorhydrique au contact de l'humidité (par exemple dans l'air ou dans la bouche). Les effets de l'inhalation ou du contact sont très graves et nécessitent généralement un traitement hospitalier. Il s'agit d'un danger avec tous les fluides frigorigènes HFC, mais les HFC et HFO A2L présentent un plus grand risque car ils sont enflammés par une flamme ouverte telle qu'une torche de brasage.

Le technicien d'entretien RAC doit organiser et préparer les zones de travail pour éviter toutes les situations potentielles d'asphyxie et de toxicité.

I.3.8. Manipulation et stockage

Les normes de sécurité RAC ne s'appliquent normalement pas au stockage des produits et équipements concernés dans les entrepôts et installations similaires. Par conséquent, les réglementations nationales doivent normalement être appliquées. Généralement, Ces derniers indiqueront qu'une évaluation des risques doit être effectuée pour aider à établir les exigences relatives à l'entrepôt et à vérifier l'installation prévue.



Figure 9

Cylindres de fluides frigorigènes rechargeables

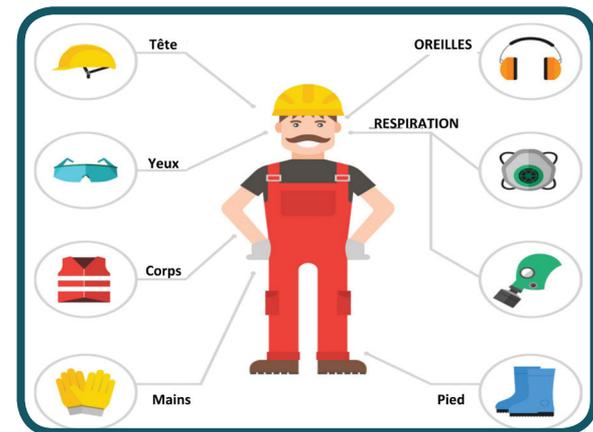
- Les fluides frigorigènes naturels et les HC doivent toujours être achetés, récupérés et stockés dans des cylindres de fluides frigorigènes rechargeables.
- La zone de stockage doit être bien ventilée et exempte de matières combustibles.
- Stockez les cylindres au rez-de-chaussée et au-dessus, mais pas dans les sous-sols ou autres pièces fermées.
- Gardez les cylindres à l'écart de toute source de chaleur et du soleil.
- Ne stockez pas les cylindres à proximité de sources d'ignition (prises de courant, prises d'alimentation, lampes et interrupteurs, moteurs électriques et équipements similaires).
- Toute source d'ignition potentielle doit être éloignée d'au moins 3 mètres du cylindre.
- Protégez les cylindres contre les chutes ou les renversements.
- Ne jamais placer les cylindres sur le côté.
- Avoir accès aux services d'urgence, par exemple les pompiers, la police, etc.

1.3.9. L'équipement de protection individuelle

Veiller à ce que tous les outils et les équipements de protection individuelle (EPI) nécessaires soient disponibles. Veiller à ce que les techniciens soient correctement formés à l'utilisation de ces EPI.

Vérifiez la fiche de données de sécurité (FDS) du fluide frigorigène, du lubrifiant et des autres substances afin de déterminer le niveau de protection requis.

Figure n° 10 Équipement de protection individuelle



1.4. TRAVAILLER AVEC DES FLUIDES FRIGORIGÈNES NATURELS ET INFLAMMABLES

1.4.1. Évaluation des risques

L'évaluation des risques est la méthode par laquelle vous décidez de la probabilité qu'une activité particulière cause un dommage (c'est-à-dire le niveau de risque) et des mesures à prendre pour contrôler le risque²⁰. Le risque fait partie de la vie quotidienne - vous n'êtes pas censé éliminer les risques, mais vous devez savoir quels sont les principaux risques et comment les gérer de manière responsable. Ce module traite uniquement des risques liés à l'utilisation des fluides frigorigènes naturels et des HC, car ils présentent des dangers supplémentaires²¹ par rapport aux fluides frigorigènes traditionnels.

19-Des informations détaillées sur les équipements de protection individuelle et les avertissements de sécurité se trouvent dans le module 5 du manuel de formation de certification .

20-Un risque est la probabilité qu'un danger puisse causer un dommage.

21-Un danger est quelque chose qui peut causer des dommages.

L'évaluation des risques se fait en quatre étapes :

- Identifier le danger,
- Identifier qui pourrait être lésé, généralement le technicien et, dans certains cas, d'autres travailleurs et le grand public,
- Évaluer les risques, en tenant compte de la probabilité d'occurrence et de la gravité qui en découle,
- Enregistrez les résultats.

Si le risque évalué est élevé, vous devrez envisager d'autres mesures de contrôle. Par exemple, lorsque vous travaillez avec un appareil fonctionnant avec un fluide frigorigène inflammable, le fait de déplacer l'appareil vers l'extérieur pour y travailler, ceci pourrait réduire le risque à un faible niveau.

Le tableau ci-dessous présente les principaux dangers des fluides frigorigènes naturels et des HC couramment utilisés, comparés au fluide frigorigène R-404A comme un exemple.

Tableau n°7: Dangers des fluides frigorigènes de substitution par rapport au R-404A

Fluide frigorigène	Inhalation	Inflammabilité	Pression	Autres
R-744	Faible toxicité	Non inflammable	Beaucoup plus élevé	Augmentation de la pression élevée du liquide piégé et risque de piégeage élevé du liquide froid. Possibilité de formation R-744 solide
R-717	Hautement toxique	Faiblement inflammable	moins élevé	
R-290	Asphyxiant	Très inflammable	similaire	
R-600a	Asphyxiant	Très inflammable	moins élevé	
R-1234ze	Asphyxiant	Faiblement inflammable	moins élevé	Produits de décomposition hautement toxiques
R-1270	Asphyxiant	Très inflammable	similaire	
R-322 ²	Asphyxiant	Faiblement inflammable	plus élevé	Produits de décomposition

Vert- similaire au R-404A ou moins sévère



Jaune – légèrement plus grave que R-404A



Rouge- beaucoup plus grave que R-404A



RAPPELZ VOUS SI VOUS N'ÊTES PAS SÛR DE QUELQUE CHOSE, NE CONTINUEZ PAS. ARRÊTEZ DE TRAVAILLER ET POSEZ DES QUESTIONS !

22- Une fois de plus, le R-32 n'est pas inclus parce qu'il appartient au groupe de fluides frigorigènes à faible PRG, mais parce qu'il est largement utilisé dans les nouveaux systèmes et appareils disponibles sur le marché.

I.4.2. Différence de procédure de service

Les propriétés des fluides frigorigènes naturels et des HC (fluides frigorigènes alternatifs), et en particulier leurs dangers, affectent la manière dont les systèmes sont entretenus et maintenus.

L'impact sur les principales procédures (lorsqu'elles diffèrent des HFC traditionnels) est résumé dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°8: Différences de procédures de services

Fluide frigorigène	Espace de travail	Matériel et outils utilisés	Test de fuite	Mise en charge	Récupération/ Elimination
R-744	Très bien ventilé	Adapté pour une très haute pression	La méthode doit être sensible au R-744	La charge initiale doit être du gaz pour éviter la formation de glace sèche	la ventilation est une pratique courante
R-717	Très bien ventilée et sans source d'inflammation (ignition)	Adapté pour une utilisation avec le R-717 et sans source d'inflammation	La méthode doit être sûre et sensible au R-717		Récupéré
R-290		Sans source d'inflammation	La méthode doit être sûre et sensible aux HC	Le poids de la charge est moindre, donc la précision est importante	Petites quantités ²³ peuvent être ventilées sinon HC est récupéré
R-600a					
R-1270					
R-1234ze			La méthode doit être sûre et sensible au R-1234ze		Récupéré
R-32 ²⁴		Adapté pour une haute pression et sans source d'inflammation	La méthode doit être sûre et sensible au R-32		Récupéré

23- Les petites quantités sont généralement considérées comme inférieures à 150 g.

24- Une fois de plus, le R-32 n'est pas inclus parce qu'il appartient au groupe de fluides frigorigènes à faible PRG, mais parce qu'il est largement utilisé dans les nouveaux systèmes et appareils disponibles sur le marché.

1.4.3. Travailler avec des fluides frigorigènes inflammables

1.4.3.1. Environnement de travail sûr et équipement de protection individuelle

Lorsque vous travaillez avec des fluides frigorigènes inflammables, la zone doit :

- Être bien ventilée,
- Ne pas avoir de source d'ignition à moins de 3 m (une zone typiquement sécurisée lorsqu'on travaille sur des systèmes fluides frigorigènes inflammables).

Si nécessaire, introduisez une ventilation forcée en utilisant un ventilateur adapté. Celui-ci est équipé d'un moteur de ventilateur antidéflagrant et d'un câble de 5 m qui permet de le mettre en marche en dehors de la zone de travail sécurisée.

- Lors de travaux intrusifs, ou si une fuite est suspectée, vérifiez la zone de travail en utilisant un détecteur de HC. Il est important que le détecteur ne puisse pas être réinitialisé à zéro. Il doit déclencher au seuil de 20 % de la LIE (Limite Inférieure d'Explosivité).
- Vous devez également avoir un extincteur à portée de main. Il doit être de type poudre sèche avec une capacité d'au moins 2 kg, ou de type CO₂ de taille équivalente.



Figure n°11

Ventilateur adapté

Figure n°12

Détecteur personnel de HC

Figure n°13

Extincteur au CO₂ et
à la poudre sèche

1.4.3.2. Outils et équipement d'entretien pour les fluides frigorigènes inflammables

Certains outils et équipements standards peuvent être utilisés en toute sécurité avec des fluides frigorigènes inflammables, y compris les ensembles de groupes manométriques. Note - ce n'est pas le cas pour le R-717.

La plupart des machines de récupération standard peuvent être utilisées en toute sécurité, car la seule source potentielle d'inflammation est généralement l'interrupteur marche/arrêt. En outre, le fluide frigorigène inflammable déchargé par la pompe est généralement dispersé en toute sécurité et ne crée pas de zone inflammable, à condition que la pompe soit située dans un endroit bien ventilé. La section sur l'évacuation ci-dessous, montre comment vous pouvez éviter le danger associé à l'interrupteur.

Figure n°14

Machine de récupération pour utilisation avec les HC, R-32, HFO



- **Les machines de récupération standards ne peuvent pas être utilisées en toute sécurité pour récupérer des fluides frigorigènes inflammables et ne doivent donc pas être utilisées.** Contrairement aux pompes à vide, il existe plusieurs sources d'inflammation (par exemple les interrupteurs marche/arrêt, les relais, les pressostats). De plus, une fuite entraînerait la création d'une zone inflammable autour de la machine. Ces risques ne peuvent être évités ; il faut donc utiliser la machine de récupération appropriée.
- N'utiliser que des cylindres de **service** rechargeables pour la récupération des fluides frigorigènes.
- Il est très important de contrôler et de surveiller la charge des fluides frigorigènes inflammables lors de l'entretien. Les **balances électroniques** doivent être adaptées à une utilisation dans une zone où des fluides frigorigènes inflammables peuvent être présents et comme confirmés par le fabricant.
- La plupart des **détecteurs électroniques de fuites** utilisés pour la détection des fuites de HFC et de HCFC ne sont pas sûrs et sensibles pour une utilisation avec des fluides frigorigènes inflammables. Il faut donc utiliser des détecteurs électroniques spécifiques pour les gaz inflammables (ou spray de détection de fuite).

- **Groupe manométrique/ jauges / tuyaux** - les matériels doivent être compatibles avec le fluide frigorigène concerné (par exemple, capables de supporter la pression maximale). Quant aux manomètres électroniques, ceux-ci doivent être adaptés à une utilisation en présence de fluides frigorigènes inflammables.
- **Groupe manométrique/ jauges / tuyaux** - les matériels doivent être compatibles avec le fluide frigorigène concerné (par exemple, capables de supporter la pression maximale). Quant aux manomètres électroniques, ceux-ci doivent être adaptés à une utilisation en présence de fluides frigorigènes inflammables.



Figure n°15

Détecteur de fuite électronique adapté aux HC

Figure n°16

Cylindre rechargeable et non rechargeable

Figure n°17

Contrôle et surveillance de la charge de fluide frigorigène

1.4.3.3. L'entretien des équipements fonctionnant avec des fluides frigorigènes inflammables

Récupération des fluides frigorigènes

Comme il a été mentionné précédemment, le fluide frigorigène inflammable doit être récupéré avec une unité de récupération conçue pour les fluides frigorigènes inflammables. Les étapes sont les mêmes que pour la récupération des fluides frigorigènes non inflammables tels que:

- Évacuez le cylindre de récupération pour éliminer l'air avant de le remplir de fluide frigorigène inflammable.
- Ne pas mélanger les fluides frigorigènes inflammables avec d'autres types de fluides frigorigènes dans un cylindre de récupération.



- Lors de la récupération des fluides frigorigènes de types hydrocarbures, ne remplissez pas les cylindres de récupération avec plus de 45 % du poids de remplissage sécurisé du HFC.
- Etiqueter le cylindre de récupération pour montrer qu'il contient une substance inflammable.
- Ne pas mélanger les fluides frigorigènes inflammables avec d'autres types de fluides frigorigènes dans un cylindre de récupération.
- Lors de la récupération des fluides frigorigènes de types hydrocarbures, ne remplissez pas les cylindres de récupération avec plus de 45 % du poids de remplissage sécurisé du HFC.
- Etiqueter le cylindre de récupération pour montrer qu'il contient une substance inflammable.

Tirage au vide

La pompe à vide doit être vérifiée pour s'assurer que l'interrupteur marche/arrêt est la seule source ignition. Si c'est le cas, la pompe à vide peut être utilisée en toute sécurité avec un fluide frigorigène inflammable si l'interrupteur marche/arrêt n'est pas utilisé :

- Mettez l'interrupteur en position marche et branchez la pompe dans une prise située en dehors de la zone de 3 m et contrôlez-la à partir de cette prise.
- Installez la pompe à vide dans un endroit bien ventilé ou à l'extérieur.

Débrassage (Déconnexion d'un joint brasé par application de chaleur)

Pour débraser les joints en toute sécurité :

- Veillez à ce qu'il y ait une bonne ventilation naturelle ou forcée.
- Récupérez le fluide frigorigène inflammable du système (voir la procédure de récupération), en vous assurant que vous récupérez tout le fluide frigorigène de l'ensemble du système.
- Faites fonctionner la machine de récupération suffisamment longtemps pour que le système soit sous vide et que la plus grande partie possible du fluide frigorigène soit retirée du système.
- Surveillez continuellement la zone à l'aide d'un détecteur de fluide frigorigène inflammable.
- Remplissez le système avec de l'azote sec sans oxygène à une pression de 0,1 bar.
- Connectez une ligne d'évacuation du système, ouvert à l'atmosphère.
- Débraser les connexions.

Assurez-vous que tout le fluide frigorigène a été retiré avant le débrassage en se connectant à la fois aux côtés haut et bas du système.



Brasage

Assurez-vous que tout le fluide frigorigène a été retiré avant le brasage en se connectant à la fois aux côtés haut et bas du système.

- Surveillez continuellement la zone à l'aide d'un détecteur de fluide frigorigène inflammable.
- Veillez à ce qu'il y ait une bonne ventilation naturelle ou forcée.
- Lors du brasage des connexions, assurez-vous qu'au moins un point d'accès au système est ouvert à l'atmosphère et purgez avec de l'azote sec.
- Utilisez toujours de l'azote sec exempt d'oxygène pendant le brasage pour éviter la formation d'oxyde de cuivre pendant le processus de brasage.

Pour les tubes de petites dimensions, il est fortement conseillé au technicien de service de ne pas braser le tube, mais d'utiliser un «Lokring» par extrusion mécanique de la connexion et de l'étanchéité du tube, qui est sûr et fiable.

Recharge

- Veillez à ce qu'il y ait une bonne ventilation naturelle ou forcée.
- Pour les HC - utilisez des HC de qualité fluide frigorigène, n'utilisez pas de GPL/ gaz combustible.
- Si les conduites de chargement ne sont pas évacuées, il faut les purger soigneusement (en ouvrant puis en fermant la vanne du cylindre avant de purger).
- Ne surchargez pas le système (par exemple, le poids de la charge des HC est d'environ 45 % du poids de la charge d'un système HFC équivalent).
- Pesez avec précision la charge lors de la charge de systèmes à charge critique. La tolérance est généralement de $\pm 5\%$. Ne réglez pas les charges de fluide frigorigène; utilisez toujours la charge indiquée par le fabricant.

Remplacement des composants

- Remplacer les appareils électriques et les compresseurs par des composants similaires.
- S'assurer que les boîtiers électriques scellées sont correctement ré-scellées avant de remettre le système en service.
- Ne modifiez pas et ne déplacez pas les composants.

Détection des fuites

Lors de l'entretien des équipements RAC qui utilisent des fluides frigorigènes hydrocarbures, un détecteur de fuite spécialement conçu pour les gaz combustibles est obligatoire. L'appareil doit avoir des détections à la fois audio et visuelles. Les détecteurs de fuites HFC ne peuvent pas détecter les hydrocarbures, et leur utilisation avec des fluides frigorigènes inflammables n'est pas sûre.

N'utilisez jamais une flamme ouverte pour effectuer des tests de fuite de fluides frigorigènes inflammables - cela provoquerait une inflammation et pourrait entraîner un incendie ou une explosion.

I.4.4. Travailler avec l'ammoniac (R-717)

I.4.4.1. Environnement de travail sécurisé et équipement de protection individuelle

En plus des précautions prises avec les autres fluides frigorigènes inflammables, un appareil respiratoire à pression positive peut également être nécessaire. Le technicien de service doit être formé à l'utilisation de cet équipement de sécurité avant de l'utiliser. Un équipement de protection individuelle doit être porté lors de travaux avec le R-717 et lors de la purge d'huile, et ceci doit comprendre au moins des gants à manchettes résistants aux produits chimiques, des lunettes de protection bien ajustées et une boîte respiratoire.



Figure n°18

Exemple d'appareil respiratoire

L'accès à une solution de lavage des yeux doit être disponible et pour les charges d'ammoniac supérieures à 1000 kg, une douche d'urgence à température contrôlée.

Toutes les procédures qui impliquent l'ouverture du système doivent faire l'objet d'une évaluation détaillée des risques et d'une déclaration de méthode avec des mesures appropriées prises pour minimiser le risque pour le personnel. La ventilation est vitale.

Les activités d'installation et maintenance doivent être effectuées par un personnel compétent et formé provenant des ressources propres de l'utilisateur ou du personnel d'un entrepreneur spécialisé en réfrigération, selon la complexité du travail.

I.4.4.2. Outils et équipement de service pour R-717

Tous les équipements utilisés doivent être adaptés à l'utilisation du R-717 (ammoniac). Les composants et les raccords en cuivre et en laiton ne doivent pas être utilisés. Dans l'ensemble, les équipements utilisés pour les fluides frigorigènes HFC ne conviennent pas pour une utilisation avec le R-717.



Figure 19

Pompe à vide adaptée pour une utilisation avec le R-717

I.4.4.3. Entretien des équipements fonctionnant avec R-717

Toute personne utilisant ou prévoyant d'utiliser un système de réfrigération à l'ammoniac doit en premier lieu consulter la norme ISO5149 (EN 378) relative aux systèmes de réfrigération utilisant de l'ammoniac.

Les systèmes de réfrigération à l'ammoniac, depuis leur mise en service initiale jusqu'à leur mise hors service et le démantèlement de l'installation, nécessitent des travaux de maintenance de routine réguliers pour permettre à l'équipement de fonctionner de manière sûre et efficace et pour fournir le refroidissement requis par l'utilisateur. De temps en temps, des travaux de maintenance non routiniers seront nécessaires pour corriger les défauts qui se développent pendant le fonctionnement.



Figure 20

Exemple de pompe à l'ammoniac



Retrait du fluide frigorigène pour l'entretien

Les systèmes sont généralement pompés soit vers une autre partie du système, soit dans des réservoirs de stockage pour effectuer des travaux de maintenance. Une petite quantité de gaz peut être évacuée. Les grands systèmes peuvent être équipés de dispositifs de pompage dédiés :

- Pour la vapeur - généralement un ensemble compresseur et condenseur capable de fonctionner à une faible contre-pression ;
- Pour les liquides - une unité de pompage.

Récupération d'huile

L'ammoniac et l'huile minérale étant presque totalement immiscibles, tout lubrifiant qui pénètre dans la partie inférieure d'un système tend à y rester sous forme de couche d'huile sous l'ammoniac, à moins que des dispositifs de récupération du lubrifiant soient installés ou que l'huile soit purgée du système. Pour certains systèmes, l'huile doit donc être périodiquement récupérée manuellement et une nouvelle huile doit être chargée dans le système.

L'huile doit être vidangée dans un récipient métallique ouvert approprié, puis éliminée conformément aux réglementations applicables en matière de traitement des déchets. Ne jamais retirer l'huile du système sans avoir au préalable pompé et isolé correctement le composant ou la section du système dont vous vidangez l'huile.

Pour des raisons de sécurité, il est essentiel que la procédure correcte soit suivie et qu'elle soit effectuée par une personne dûment formée et certifiée.

Détection des fuites

Les fuites de R-717 peuvent être détectées par les moyens suivants :

- Un contrôle visuel - par exemple, recherchez les taches d'huile ;
- Spray de détection des fuites ;
- Un détecteur électronique de fuites adapté ;
- Papier phénolphtaléine.

Compétence du personnel

Comme il a déjà été mentionné, les compétences requises du personnel travaillant sur les systèmes de réfrigération et les pompes à chaleur sont définies dans la norme EN 13313. Les méthodes de formation et d'évaluation sont présentées dans l'annexe A ; il existe trois catégories, A, B et C, avec A pour le personnel de maintenance, B pour le personnel d'installation et de réparation et C pour les concepteurs, le personnel de mise en service et les inspecteurs. **La formation des personnes pour qu'elles acquièrent la compétence nécessaire pour travailler avec l'ammoniac doit être conforme à la réglementation nationale.**

I.4.5. Travailler avec le dioxyde de carbone (R-744)

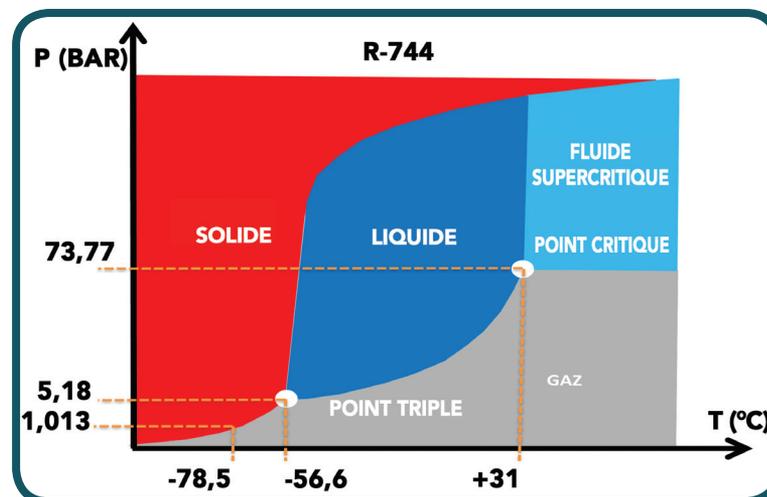
Les principales différences lorsqu'on travaille avec le R-744 (dioxyde de carbone: CO_2) sont liées aux pressions élevées, au risque et à la probabilité accrus de piéger du liquide et aux problèmes liés à la formation de glace sèche.

Ce que nous devons savoir sur le R-744:

- Point critique bas²⁵ - le R-744 a un point critique bas à 31°C (à une pression de 73,77 bar).
- Point triple élevé²⁶ - le R-744 a un point triple élevé à $-56,6^\circ\text{C}$ (à une pression de 5,18 bar).
- Très basse température à la pression ambiante ($-78,5^\circ\text{C}$).

Figure n° 21

Propriétés importantes de CO_2 en tant que fluide frigorigène



I.4.5.1. Environnement de travail sécurisé et équipement de protection individuelle

La zone de travail doit être très bien ventilée et surveillée à l'aide d'un détecteur de CO_2 (soit la détection fixe dans la zone, soit avec un détecteur personnel). Les niveaux d'alarme typiques sont les suivants:

- Pré-alarme à 10 000 ppm,
- Alarme principale à 20 000 ppm.

Le R-744 est un asphyxiant et peut provoquer une hyperventilation et une désorientation. Des protecteurs d'oreilles seront également nécessaires lors de la ventilation des systèmes R-744.

La plupart des systèmes R-744 sont plus complexes que les systèmes traditionnels. Avant de travailler sur un système R-744, assurez-vous de savoir comment le système fonctionne et ce que font tous ses composants, en particulier les vannes d'isolement.

25- Point critique - La température critique d'un fluide frigorigène est la température au-dessus de laquelle un gaz fluide frigorigène (vapeur) ne peut pas être liquéfié, quelle que soit la pression.

26- Point triple - Au point triple, les trois phases (solide, liquide et gaz) sont en équilibre. L'expansion en dessous de ce point transforme les fluides frigorigènes gaz en état solide - glace sèche.

1.4.5.2. Outils et équipements d'entretien pour R-744

La pression peut atteindre 120 bars sur les systèmes transcritiques²⁷ et 45 bars sur les systèmes sous-critiques²⁸ en cascade. La pression du cylindre sera élevée, par exemple 99 bars lorsque la température du cylindre est de 400°C.

Les outils et l'équipement doivent être adaptés à la pression:

- Tuyaux (acier tressé, tube de cuivre ou tuyau pneumatique) ;
- Jeu de groupe manométrique (manifold) ;
- Connexions aux cylindres / adaptateurs de cylindre ;
- Régulateur d'azote et groupe manométrique pour les essais de pression - une pression d'essai de résistance allant jusqu'à 132 bars peut être nécessaire.

1.4.5.3. Entretien des équipements fonctionnant avec le R-744

Lors de la connexion aux systèmes :

- Assurez-vous que le R-744 n'est pas coincé dans les conduites, les raccords, etc. ;
- Si une soupape de surpression est installée sur l'équipement d'accès, assurez-vous qu'elle s'ouvre dans une direction sécurisée.

Récupération (élimination)

Le R-744 est généralement ventilé plutôt que récupéré:

- Ventiler dans un endroit très bien aéré ou à l'extérieur ;
- Attention au risque d'asphyxie;
- Attention au niveau de bruit très élevé (portez des protecteurs d'oreilles) ;



Figure n° 22

Exemple de tuyaux et de groupe manométrique (manifold) pour travailler avec le CO₂

27- Système de réfrigération fonctionnant au dessus du point critique (le point critique du R-744 est à une température de 31°C et une pression de 71,77 bars). Au-dessus du point critique, il n'y a pas de distinction entre phase liquide et phase gazeuse.

28- Système de réfrigération fonctionnant en dessous du point critique. En dessous du point critique (en dessous de la température critique), il y a une séparation claire de la phase liquide et gazeuse.

- Attention à la formation de glace sèche dans le système (par exemple au niveau des plaques à orifice) et dans la conduite de ventilation à l'approche du point triple. La glace sèche peut obstruer la conduite de ventilation de sorte qu'il semble que tout le fluide frigorigène a été évacué;
- Portez des gants appropriés- la température du tuyau va baisser ;
- Méfiez-vous des pressions très élevées - fixez la conduite de ventilation pour qu'elle ne puisse pas battre;
- Ne laissez pas le système sans surveillance pendant la ventilation.

La glace sèche

Si de la glace sèche se forme, la pression tombera à 0 bar. Lorsque la glace sèche se sublime, la pression augmentera rapidement en raison du changement d'état couplé à l'augmentation de la température. Vérifiez la pression dans le système avant d'y accéder. Si de la glace sèche se forme :

- Ne le chauffez pas;
- Isolez la conduite de ventilation et surveillez la pression du système ;
- Vous verrez quand la glace sèche sera sublimée - cela peut prendre beaucoup de temps ;
- Continuez à ventiler.

De la glace sèche peut se former dans le système lors de la ventilation du R-744. Il fait très froid, donc lorsque vous ouvrez le système, les surfaces sont très froides et l'humidité se condense plus facilement sur ces surfaces. Celui-ci, doit être séché le plus complètement possible et le système doit être évacué avant d'être remis en service.

Les photos ci-dessous, en montrent un exemple lors d'un remplacement d'un filtre déshydrateur.

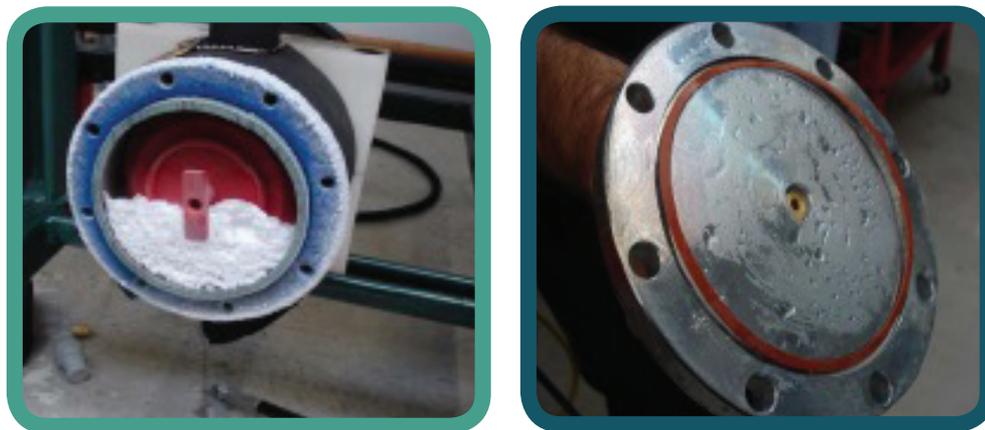
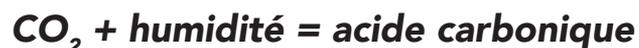


Figure n° 23

Exemple de glace sèche et d'humidité dans le filtre déshydrateur.

Évacuation (vide)

Les systèmes doivent être évacués s'ils ont été ouverts à l'air libre ou après un test de pression. L'humidité produit des acides qui sont nocifs pour le système :



L'air dans les systèmes transcritiques pose des problèmes majeurs car il s'agit d'un gaz non condensable qui augmente les pressions du système (comme c'est le cas pour tous les systèmes de réfrigération, mais la pression supplémentaire est plus critique dans un système R-744).

Chargement

Lors de la charge avec le R-744 :

- Veillez à ce que la zone de travail soit très bien ventilée ;
- Veillez à utiliser du CO₂ de qualité fluide frigorigène (c'est-à-dire R-744) ;
- Veillez à ce que les cylindres soient debout et bien fixés, par exemple dans un chariot approprié ;
- Ouvrez les cylindres lentement, n'oubliez pas que la haute pression peut déstabiliser le cylindre ;
- Purgez soigneusement les conduites pour éliminer l'air, l'humidité et les autres contaminants.
- Chargez le gaz (à partir des cylindres) jusqu'à ce que la pression du système soit supérieure au point triple pour éviter la formation de glace sèche (par exemple, chargez à 10 bars) ;
- Ensuite, chargez le liquide (à partir de cylindres ou de vrac).



Figure n° 24

Exemple de connexion et de charge d'unité de CO₂

La séquence de charge pour les systèmes en cascade est importante - il faut d'abord charger et faire fonctionner le côté haut.

Après le chargement, vous devez vous assurer que le R-744 n'est pas coincé dans l'équipement de chargement ou dans les tuyaux, alors ouvrez toutes les valves de l'équipement de chargement. Ne fermez pas les vannes avant d'être sûr qu'il n'y a que du gaz R-744 dans les conduites à basse pression, par exemple 10 bar.

Dans de nombreux systèmes, le réglage de la soupape de surpression (PRV) protégeant la section du système que vous chargez sera inférieure à la pression du R-744 dans le cylindre. Vous devez charger lentement et avec précaution pour éviter que la ventilation de soupape de surpression.

Détection des fuites

- Le CO₂ a une taille de molécule plus petite que les fluides frigorigènes HFC et se diffuse plus facilement. Ceci, ajouté à la pression plus élevée, signifie que les systèmes R-744 ont un plus grand potentiel de fuite. Les méthodes de détection des fuites comprennent :
- Un contrôle visuel - par exemple, recherchez les taches d'huile ;
- Spray de détection des fuites ;
- Des détecteurs de fuites électroniques appropriés, comme ceux qui figurent sur la photo (il y a du CO₂ dans l'atmosphère, donc ils détecteront une fuite au-dessus de ce niveau).

Figure n° 25

Exemple de détecteur électronique de CO₂



I.5. PERFORMANCE D'UN SYSTÈME UTILISANT DES FLUIDES FRIGORIGÈNES NATURELS ET INFLAMMABLES

En raison des efforts déployés dans le monde pour protéger notre climat, l'intérêt pour les fluides frigorigènes naturels est en hausse. Les fluides frigorigènes naturels sont également très efficaces - en fait, l'ammoniac est reconnu comme le fluide frigorigène le plus efficace de tous - ce qui permet de maintenir la consommation d'énergie de l'installation à un faible niveau.

Les performances du système RAC dépendent de l'application du système, de la conception et de la maintenance du système et nécessitent l'analyse de nombreux critères, et pas seulement des propriétés du fluide frigorigène utilisé.

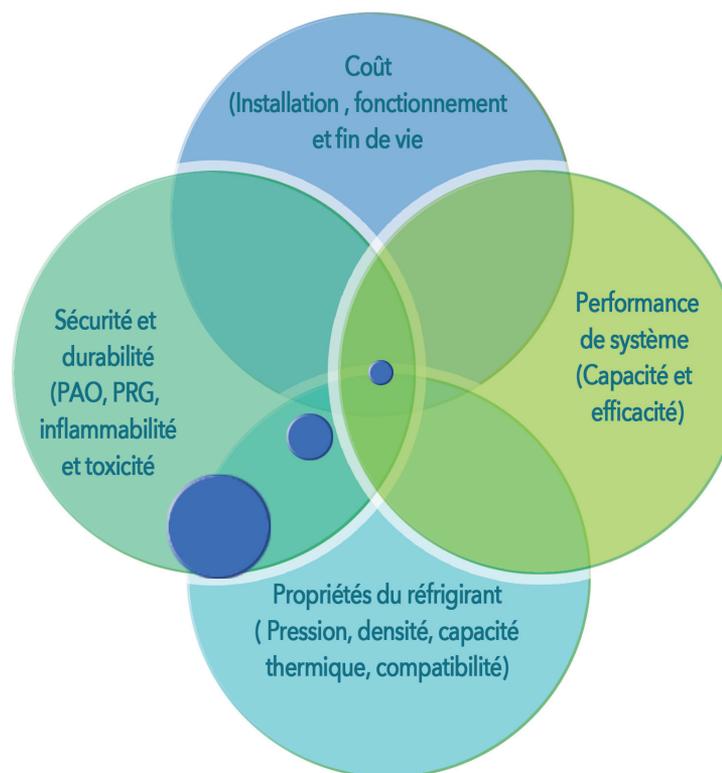
Le fluide frigorigène idéal n'existe pas et a peu de chances de voir le jour. La sélection devra donc se faire dans le groupe des fluides frigorigènes à faible PRG (par exemple, le R-717, le R-744, les HC ou les produits chimiques halogénés insaturés tels que les HFOs) et des mélanges de ces fluides frigorigènes et des fluides frigorigènes traditionnels. De nombreuses nouvelles alternatives sont proposées, ce qui crée un défi pour trouver le bon fluide frigorigène pour chaque application.

La figure ci-dessous, présente la manière dont nous équilibrons les propriétés tout en sélectionnant le fluide frigorigène le plus approprié pour une certaine application.

Figure n° 26

Considération pour la sélection d'un fluide frigorigène naturel pour certaines applications

Le point optimal varie en fonction de l'application, des conditions de fonctionnement, de la réglementation, et des normes



Les évolutions et les innovations technologiques ont permis de considérer les «fluides frigorigènes naturels» comme une solution sûre et économique pour des applications dans de nombreux secteurs. En raison des impacts environnementaux minimes et en étant plus adéquats dans une perspective de développement technologique durable, les systèmes de réfrigération avec des fluides frigorigènes naturels commencent à jouer un rôle important en tant qu'alternatives aux fluides frigorigènes existants (principalement les HFC) dans de nombreuses applications.

L'utilisation de fluides frigorigènes naturels est également judicieuse d'un point de vue économique. Les fluides frigorigènes eux-mêmes sont disponibles partout et sont peu coûteux, ce qui devient un facteur dans la charge initiale d'une installation et a également un effet positif sur les coûts d'exploitation lorsque les pertes par fuite sont prises en compte.

Dans les études d'efficacité s'étalant sur plusieurs années, les installations de réfrigération naturelle ont souvent plusieurs longueurs d'avance sur leurs concurrents. Cela s'explique par la réduction des coûts liés aux fuites, le faible coût de maintenance, ainsi que leur faible consommation d'énergie (cela est particulièrement important pour les installations industrielles). Ajoutez à cela l'élimination relativement peu coûteuse des fluides frigorigènes naturels à la fin de la durée de vie d'une installation. En d'autres termes : les fluides frigorigènes naturels sont imbattables - tant du point de vue économique qu'environnemental.

À titre d'exemple pour l'efficacité énergétique des fluides frigorigènes naturels, des HC et des HFO par rapport au R-404A, une simulation des conditions de travail est réalisée par le logiciel Coolpack.

La comparaison a été estimée aux conditions suivantes:

- Capacité de refroidissement, 10kW ;
- Température d'évaporation, -10°C ;
- Température de condensation, 35°C (le R-744 est transcritique et a une température de sortie du refroidisseur de gaz de 35°C)
- Surchauffe utile, 5K ;
- Sous-refroidissement, 2K ;
- Les pertes de charge sont équivalentes à 0,5 K ;
- Efficacité isentropique, 0,7.

Les résultats de la simulation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°9: Comparaison des performances des fluides frigorigènes naturels, des HC par rapport au R-404A

Fluide frigorigène	Volume balayé m ³ /h	Température de saturation a 0 bar 0°C	Température de décharge 0°C	Coefficient de performance (COP) ²⁹	Ratio de compression ³⁰
R-404A	14,84	- 46	57	2,94	3,82
R-1270	14,3	- 48	67	3,17	3,53
R-290	17,35	- 42	59	3,18	3,61
R-600a	47,3	- 12	51	3,26	4,4
R-1234ze	35,14	- 19	52	3,28	4,54
R-32	9,65	- 52	99.5	3,17	3,77
R-717	14,3	- 33	152	3,27	4,82
R-744	3,88	- 78	114	1,75	3,42

29 -Tous les COP indiqués dans ce tableau sont des COP théoriques du cycle de réfrigération. Le R-744 fonctionne au-dessus du point critique au cycle de référence, en pratique le COP sera plus élevé que celui indiqué dans la simple comparaison ci-dessus.

30- Le ratio de compression est la pression de refoulement divisée par la pression d'aspiration, toutes deux en bar absolue.



Notez que le coefficient de performance (COP) pour le R-744 est faible car il s'agit d'une comparaison de cycles théoriques dans des conditions que la plupart des systèmes de réfrigération utiliseraient (y compris une température de condensation de 35°C). Cependant, le R-744 est au-dessus de la température critique pour cette comparaison, et en réalité la haute pression (de refoulement) sera contrôlée à une pression différente pour fournir un COP amélioré.

Le tableau ci-dessus, fournit une indication de la performance des fluides frigorigènes alternatifs. Le R-404A est inclus à des fins de comparaison. Ces informations ont été obtenues à partir du logiciel CoolPack.

Les chiffres ci-dessus, donnent une indication de la performance comparative car elle est basée sur un cycle théorique. Les comparaisons réelles dépendent de la technologie du compresseur, de l'application, de la température ambiante et du type de système. Les données/logiciels du fabricant permettront une comparaison plus précise pour une application spécifique.

Pour plus d'informations, veuillez contacter:
Unité Nationale d'Ozone de Tunisie
Agence Nationale de Protection de l'Environnement
E-mail: boc@anpe.nat.tn