

CONFINEMENT DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES

Laboratoire :

Pôle Technologies de l'Étanchéité, CETIM (Centre Technique des Industries Mécaniques),
Etablissement de Nantes

Partenaires :

- les industriels membres de la Commission MFCE (Matériels Frigorifiques, Conditionneurs d'air et Echangeurs de chaleur) du CETIM-CETIAT et son groupe de travail « Confinement »,
- l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)

Auteurs : A. HUCHET, X. CAZAURAN, C. HERMON, Y. MORIO, S. GUYOT (CETIM)

RESUME

Depuis 2003, le CETIM entreprend des projets avec la collaboration de partenaires industriels de la réfrigération et du conditionnement d'air dans le but de les aider à améliorer le confinement de leurs installations.

Le présent article traite de travaux d'élaboration de procédures d'essais et de normes, de réalisation d'essais en laboratoire, de mesures sur sites et de leurs résultats. Les applications sont le confinement d'installations utilisant des HFC/HCFC ou du CO₂.

Les trois étapes principales des projets sont : a) définir des procédures d'essais avec la collaboration des industriels, b) tester l'étanchéité de composants suivant ces procédures et c) détecter et mesurer les fuites sur des installations en service afin de constater la faisabilité de la méthode de détection et de mesurer les fuites réelles.

Plusieurs outils utilisables par les industriels résultent de ces travaux : normes, réalisation d'essais suivant ces normes (avec « certificat d'étanchéité »), un logiciel d'aide pour le suivi de contrôles d'étanchéité, un guide de bonnes pratiques pour la détection de fuites de fluides frigorigènes.

1. CONTEXTE

Le rejet à l'atmosphère des gaz à effet de serre est de plus en plus sévèrement réglementé.

Le protocole de Montréal et ses amendements ont pour objectif d'interdire progressivement la production et la consommation des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, dont font partie les CFC et les HCFC.

La convention-cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques, entrée en vigueur en mars 1994, entraîne la mise en place de politiques visant à limiter les émissions des gaz à effet de serre. Plus récemment, le règlement européen F-Gas 842/2006, applicable dans son intégralité depuis le 4 juillet 2007, a pour objet de confiner, de prévenir et donc de réduire les émissions de gaz fluorés.

Dans le cadre du projet national de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre, le CETIM a été sollicité par la profession pour mener des actions dont le but est d'améliorer la connaissance et la sélection des composants, de proposer des méthodes d'essais et de détection des fuites sur les installations, et de proposer des remèdes.

Aussi, certaines applications en froid renouent avec l'utilisation du CO₂ comme fluide frigorigène. Les composants doivent être adaptés spécifiquement à ce fluide et notamment faire preuve d'étanchéité pour des raisons de sécurité et de maintien de l'efficacité du système. Les pressions mises en jeu et les fuites résultantes entraînent rapidement la perte des performances énergétiques.

2. OBJECTIFS

Le premier des objectifs est d'élaborer des procédures pour tester les composants présents le plus communément sur les installations frigorifiques. La sélection des composants, ainsi que la définition des paramètres d'essais, sont réalisées en collaboration avec les industriels afin d'assurer une meilleure représentation des conditions réelles d'utilisation. Les essais incluent des tests d'étanchéité à l'hélium ou au CO₂. L'hélium est choisi comme gaz de référence pour les essais d'étanchéité mais aussi en remplacement des gaz fluorés.

Le deuxième objectif est de réaliser des essais sur différents composants (vannes, flexibles, filtres, etc) suivant ces procédures et déterminer leur niveau d'étanchéité à leur pression maximale de service.

Un autre objectif est de faire des mesures de fuite sur sites pour en vérifier la faisabilité et pour réunir des données résultantes en conditions réelles.

3. ESSAIS EN LABORATOIRE

3.1. Procédures d'essais

Le diagramme suivant (Figure 1) montre les différentes étapes des procédures.

La procédure pour les applications CO₂ divise les composants en deux catégories : les composants universels utilisés dans les applications sub-critiques et ceux dans les applications trans-critiques.

Les détails des méthodes et des paramètres d'essais sont détaillées dans les paragraphes suivants.

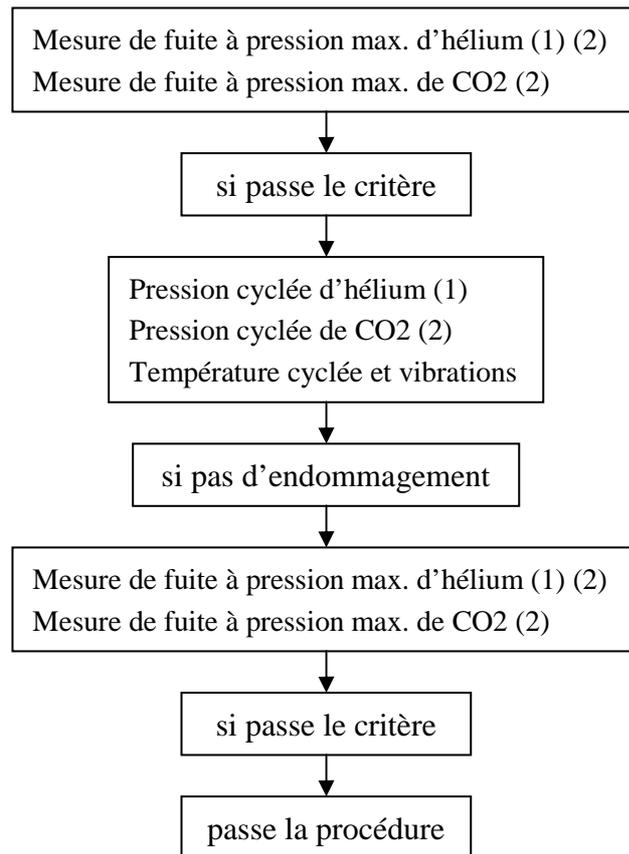


Figure 1 : Etapes de la procédure gaz fluorés (1) et de la procédure CO2 (2)

3.2. Méthode de mesure de fuite hélium

L'étanchéité est testée en appliquant la méthode de mesure globale sous vide afin de mesurer le taux de fuite total du composant. Cela consiste à placer le composant dans une enceinte étanche qui est mise sous vide. Le composant est ensuite pressurisé à l'hélium et sa fuite globale est mesurée à l'aide d'un spectromètre de masse hélium qui est relié à l'enceinte. Cette méthode est décrite dans la norme NF EN 1779. Les essais sont réalisés à température ambiante et à la pression maximale.

3.3. Méthode de mesure de fuite CO2

Le débit de fuite est ici déterminé par accumulation du CO2 dans une enceinte confinée. La méthode consiste à placer un composant dans une enceinte étanche. Le vide est réalisé dans l'enceinte afin d'éliminer le CO2 de l'air ambiant et dans le composant pour qu'il ne contienne ensuite que du CO2. L'enceinte est mise sous atmosphère d'azote et le composant est ensuite mis sous pression de CO2. Si une fuite existe, la concentration de CO2 augmente au cours du temps, celle-ci est mesurée par un analyseur fonctionnant par spectrophotométrie infrarouge. Le niveau de fuite exprimé en g/an est calculé à partir de l'évolution de la concentration lorsque celle-ci est stabilisée. Les essais sont réalisés à température ambiante et à la pression maximale : 65 bar (applications sub-critiques) ou 120 bar (applications trans-critiques).

3.4. Cyclages en pression et température et vibrations

Les "composants CO2" sont initialement soumis à une pression maximale pendant une journée. Cette phase correspond au temps de diffusion du CO2 dans les joints éventuellement présents. Les essais sont une combinaison de pression cyclée, température cyclée et vibrations. Les temps d'essais sont de 5 semaines pour

les essais à l'hélium pour les « composants gaz fluorés » et de 225 heures pour ceux réalisés directement au CO2 pour les « composants CO2 ». Un contrôle d'étanchéité est effectué quotidiennement à l'aide d'un spectromètre de masse hélium ou multi-gaz renifleur afin de repérer toute détérioration des composants en matière d'étanchéité.

Les paramètres de pression et température sont décrits dans les Figures 2, 3 et 4. Les paramètres de vibrations sont 200 Hz et 10-15 mm/s.

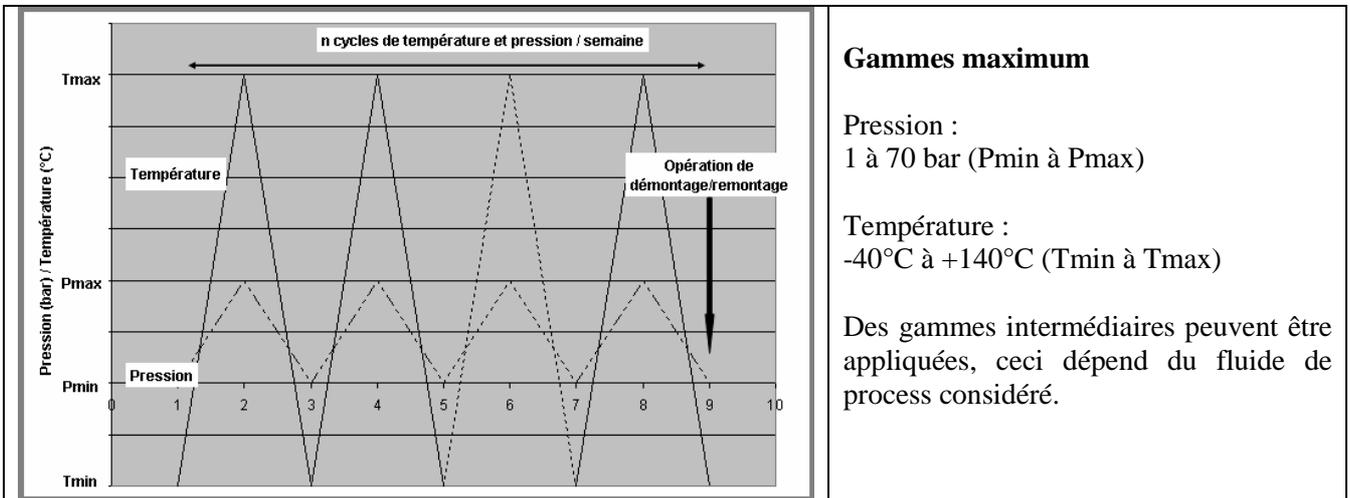


Figure 2 : Applications gaz fluorés

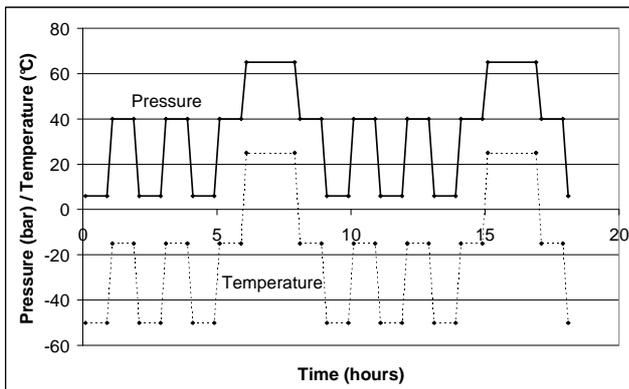


Figure 3 : Applications CO2 sub-critiques

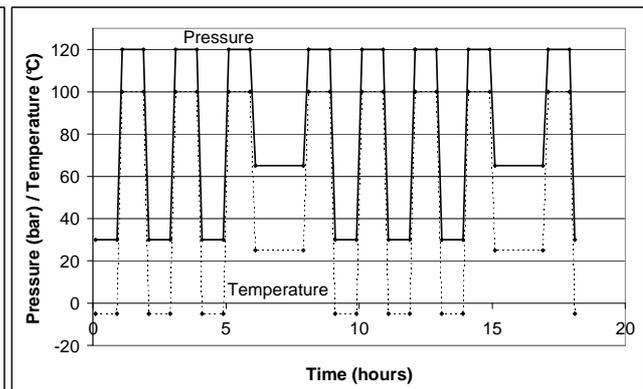
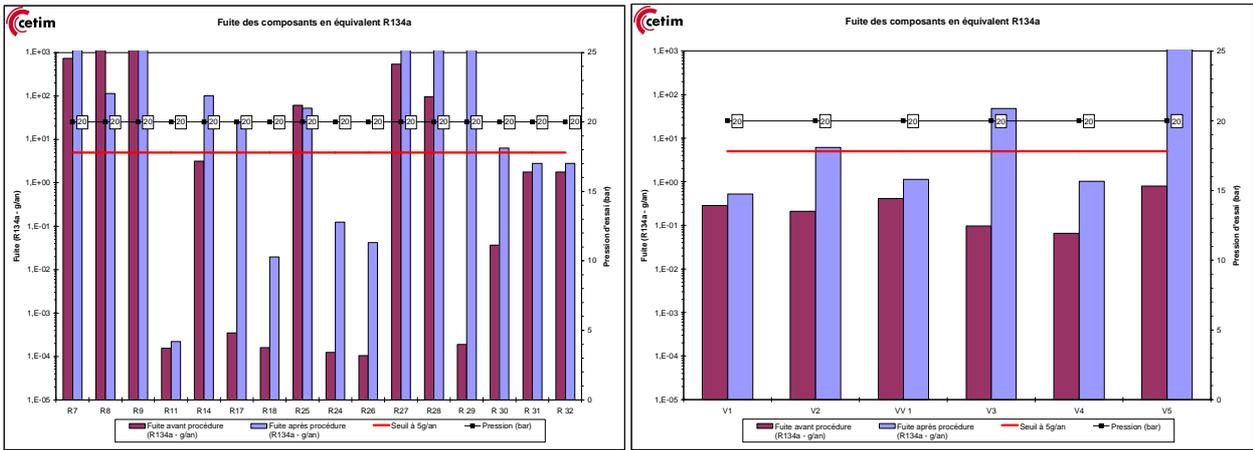


Figure 4 : Applications CO2 trans-critiques

3.5. Résultats des essais en laboratoire

Un résumé avec des exemples des très nombreux résultats est présenté ci-dessous. Les différents graphes comparent les niveaux de fuite des composants avant et après l'essai de cyclages. Les valeurs des fuites des « composants gaz fluorés » mesurées à l'hélium en $\text{atm.cm}^3/\text{s}$ sont présentées en valeurs équivalentes au R134a en g/an. Les valeurs des fuites des « composants CO2 » mesurées à l'hélium sont exprimées en $\text{atm.cm}^3/\text{s}$ et celles réalisées avec du CO2 en g/an.



Figures 4a et 4b : Fuites équivalentes R134a « composants gaz fluorés »

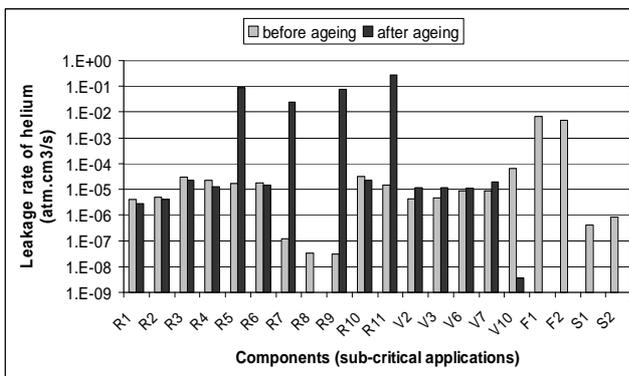


Figure 5 : Fuites hélium (CO2 sub-critique)

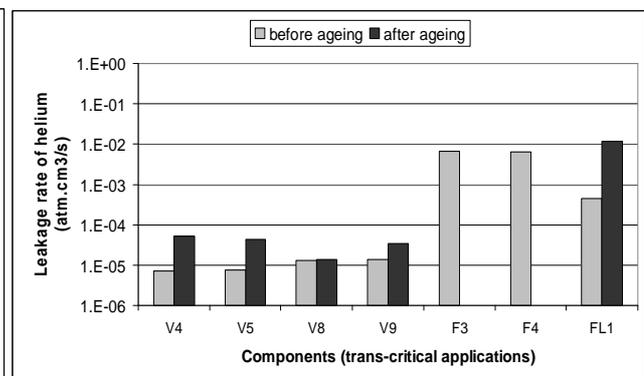


Figure 6 : Fuites hélium (CO2 trans-critique)

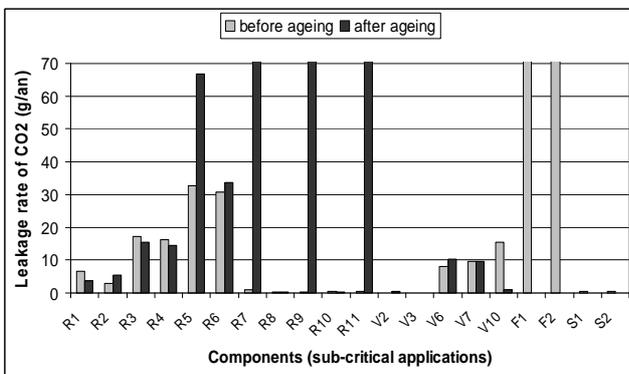


Figure 7 : Fuites CO2 (CO2 sub-critique)

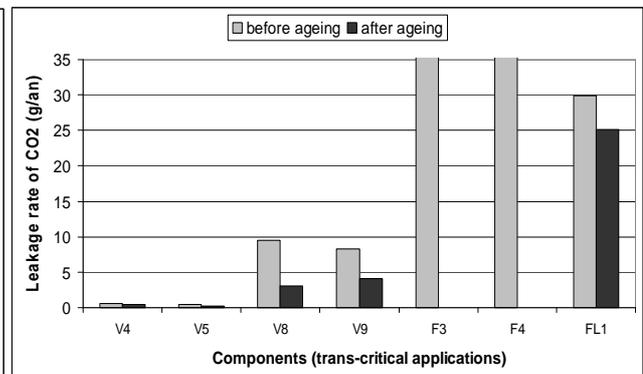


Figure 8 : Fuites CO2 (CO2 trans-critique)

3.6. Conclusion des essais en laboratoire

Ces travaux nous permettent d'observer l'évolution des fuites de composants et de mettre à jour quelques points de défaillance afin d'améliorer l'étanchéité.

- Filtres mécaniques avec joint : les différents essais ont permis aux fabricants d'adapter certains types de joints à leurs applications (attention aux compatibilités chimiques des joints).
- Voyants : idem ; certains étaient montés avec une qualité de PTFE qui ne correspondait pas aux exigences des conditions d'utilisation.

- Nous avons également mis en évidence, pour certains montages de raccords, la déformation du tube en rotation.
- Certains raccords ont dû être resserrés après une première série de cycles.
- Les fuites constatées sur les raccords apparaissent souvent après une opération de « maintenance » (démontage, remontage). Quand le raccord est fuyard, la fuite est visible à la bulle (fuite importante).
- Un raccord bien monté, suivant les recommandations du fournisseur ne fuit pas mais nécessite un serrage contrôlé à la clé dynamométrique ou à l'aide d'un « calibre ».
- La préparation des tubes est importante (longueur, ébavurage, etc).
- Le vieillissement des presse-étoupes de vannes se traduit régulièrement par un blocage de la tige de manœuvre. Pour certaines vannes, ce problème apparaît après 4 jours de cyclages, les simulations d'opération de maintenance sont alors impossibles.
- Valves de remplissage CO₂ : les valves se sont déplacées dans leur logement pendant l'essai de cyclages.

4. MESURES SUR SITES

Des détections de fuites, avec estimation de leur niveau, sont réalisées sur sites de réfrigération industrielle et commerciale. Ceci a permis de valider la méthode de détection, avec mesures, de gaz fluorés et de CO₂ sur le terrain, dans les conditions de service. Cette action a aussi permis d'identifier et de hiérarchiser les composants selon leur niveau de fuite.

Les sites choisis utilisant des gaz fluorés sont des installations de grande puissance, dans les domaines de l'agro-alimentaire, du transport frigorifique, du froid industriel, des « chillers », de la climatisation, du froid commercial, de l'entreposage et sur des patinoires.

Les installations visitées qui comportent des circuits CO₂ sont de type froid commercial (supermarché), ou froid industriel (entrepôts, unité de surgélation).

Les zones examinées sont celles ayant des composants (brides, vannes, raccords, robinets, connections filetées, etc.) susceptibles de générer une fuite, en nous appuyant sur les conseils de personnes connaissant les installations et les problèmes de fuites qu'elles ont pu rencontrer par le passé.

Une mesure correspond à une source de fuite (par exemple : une ligne de brasure, un presse-étoupe, etc). Il peut y avoir plusieurs sources de fuites sur un seul composant.

4.1. Méthode de détection de fuites

Les détections et mesures sont réalisées à l'aide soit d'un spectromètre de masse multi-gaz renifleur, soit d'un détecteur à ionisation de flamme (pour les composés hydrocarbonés). La méthode par reniflage est décrite dans les normes NF EN 1779 et NF EN 13185.

La sonde du renifleur est déplacée au plus près des composants et lentement autour de ceux-ci afin de détecter la fuite le plus précisément possible.

Une grande partie des composants constituant l'installation est contrôlée et identifiée. Les résultats recueillis sur les différents composants permettent de définir leur contribution relative dans l'apparition des fuites. On peut ainsi identifier les types de composants les plus « fuyards » sur un site et recouper ces résultats avec ceux recueillis sur les autres sites.

4.2. Résultats des mesures sur sites

Plus de 3600 points de mesure ont été relevés sur 15 sites, installations utilisant un gaz fluoré (R22, R134a, R404A, R409a) ou du CO₂ confondues.

Les graphiques des Figures 8 à 16 représentent le pourcentage de niveaux de fuite de gaz fluorés mesurés par classes de fuite. Dans le premier graphique, par exemple, on constate que seulement 57.1% des fuites sont inférieures ou égales à 5 g/an. 7.1% des fuites sont comprises entre 5 et 10 g/an, 14.3% des fuites sont comprises entre 10 et 50 g/an et ainsi de suite.

Les graphiques des Figures 17 à 21 montrent le niveau de fuite aux sources d'émission de CO2, pour lesquelles la fuite est mesurée supérieure à 2 ou 5 g/year selon les conditions environnementales.

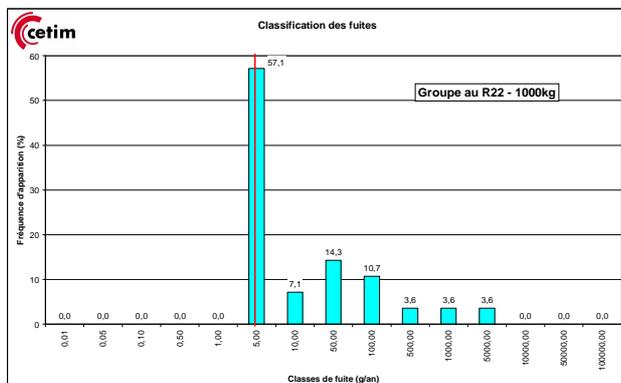


Figure 8 : Entrepôt (R22)

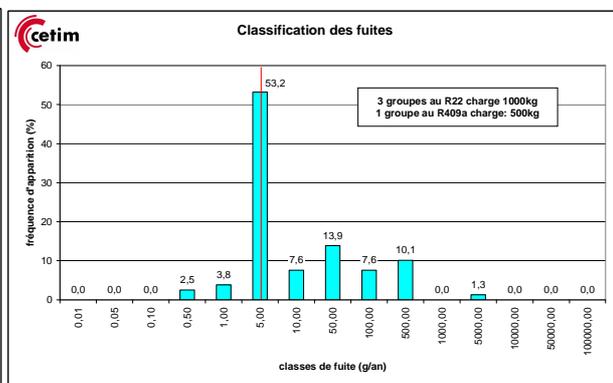


Figure 9 : Charcuterie industrielle (R22 et R409a)

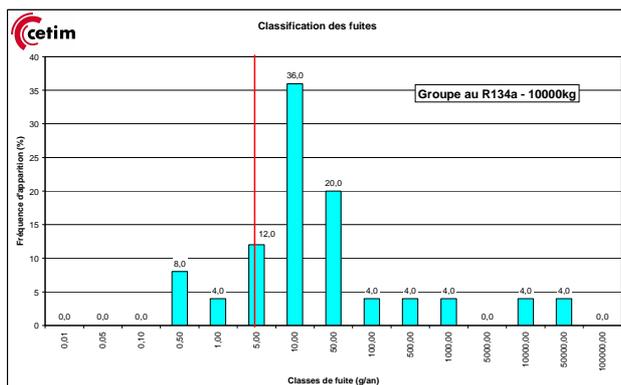


Figure 10 : Malterie (R134a)

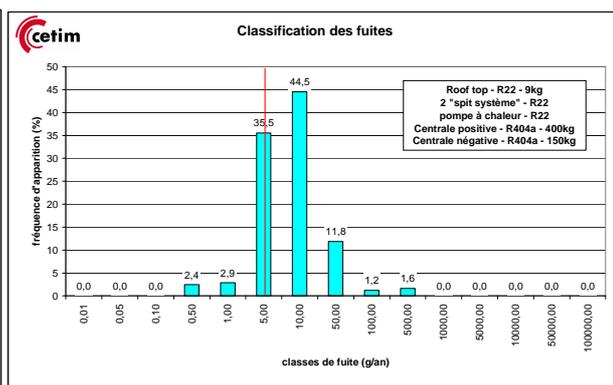


Figure 11 : Supermarché (R22 et R404A)

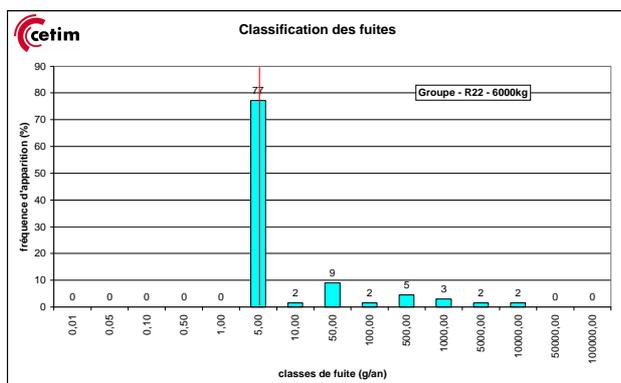


Figure 12 : Patinoire (R22)

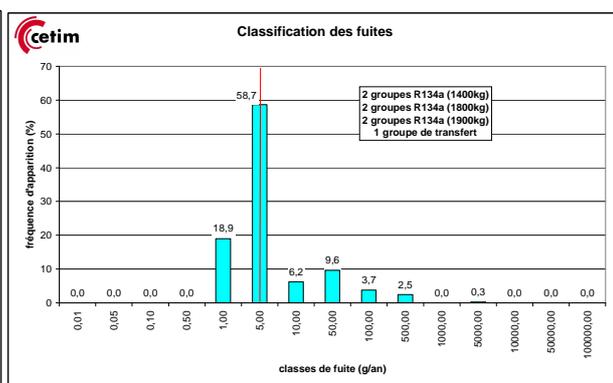


Figure 13 : Production d'eau glacée (R134a)

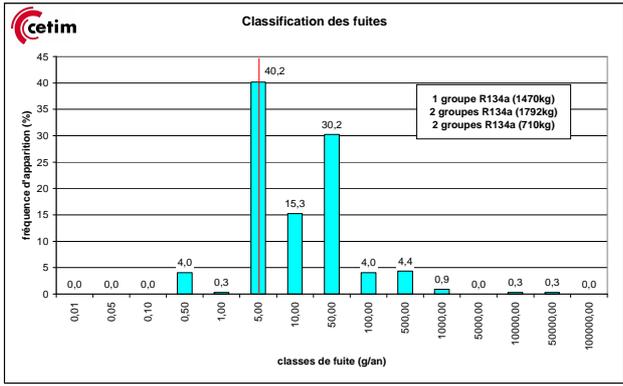


Figure 14 : Production d'eau glacée (R134a)

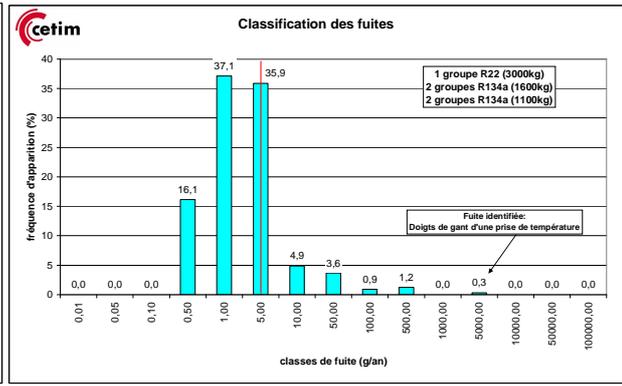


Figure 15 : Production d'eau glacée (R22 et R134a)

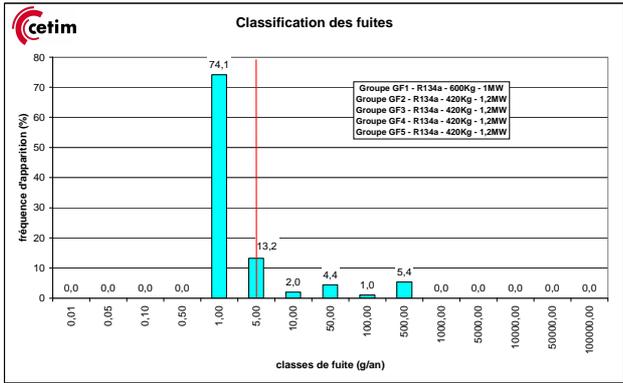


Figure 16 : Refroidissement de salle blanche (R134a)

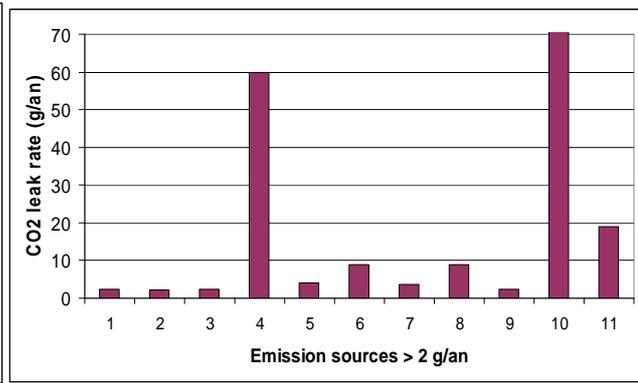


Figure 17 : Installation de formation (CO2)

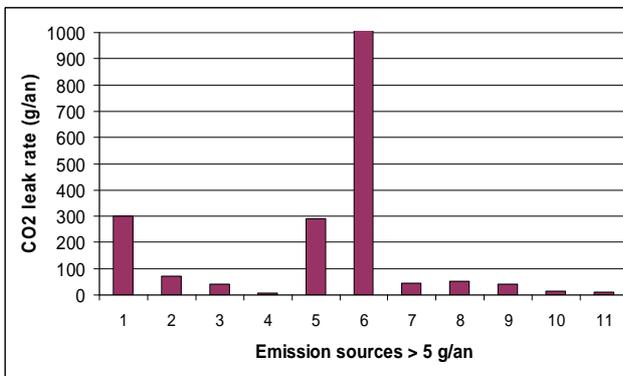


Figure 18 : Entrepôt (CO2)

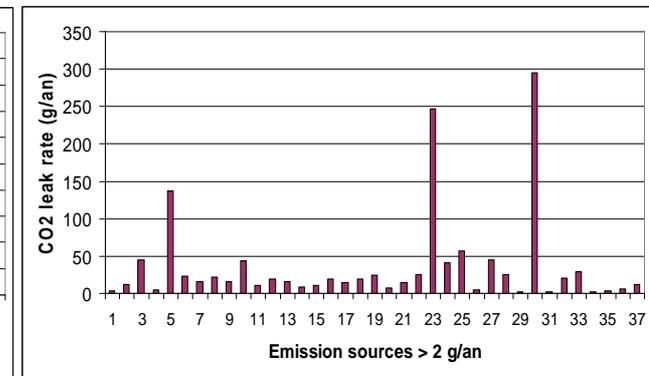


Figure 19 : Supermarché (CO2)

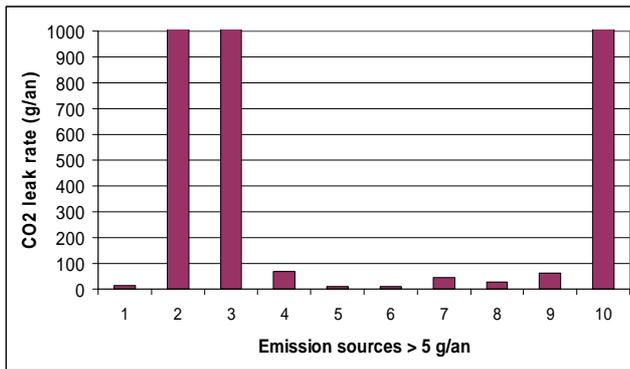


Figure 20 : Unité de surgélation (CO2)

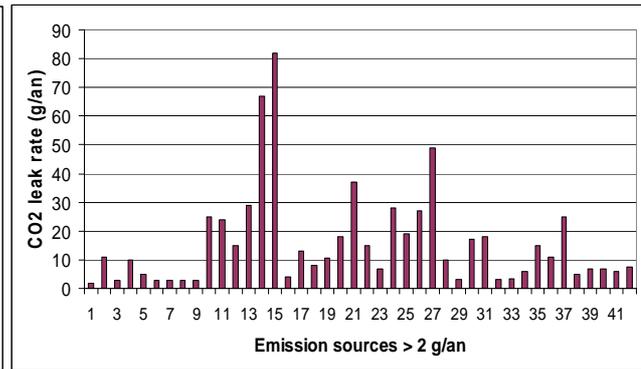


Figure 21 : Entrepôt (CO2)

4.3. Conclusion des mesures sur sites

La méthode de détection avec mesure de gaz fluoré ou de CO2 est convaincante. L'avantage d'obtenir une mesure est de hiérarchiser les fuites par niveaux, ce qui permet d'apporter une maintenance par priorités.

Les groupes récents sont beaucoup moins sujets aux fuites que les anciens groupes. Notons que les groupes récents ont également beaucoup moins de composants, peu de piquages et les sources de fuites sont donc beaucoup moins importantes. Il y a peu de valves de remplissage sur les groupes récents.

Les « composants gaz fluorés » les plus en causes :

- Les vannes sont une des principales sources de fuites. Les fuites sont localisées au niveau du presse-étoupe. Le bouchon bloque généralement la plus grande partie des fuites. A chaque fois qu'il était possible de dévisser le bouchon au niveau du presse-étoupe, nous avons mesuré une fuite plus ou moins importante suivant le type de matériel. Pour certains, la fuite était visible à l'œil.
- Les valves de remplissage ont le même type de comportement. Sans le bouchon, dans la plus part des cas, la valve fuit. Il est très important d'avoir un joint au fond du bouchon. Le joint doit être compatible avec le fluide et l'huile véhiculés.

Les « composants CO2 » les plus en causes :

- Les brides. L'une d'entre elles n'était pas assez serrée. Vérifier les surfaces des brides, placer correctement le joint adéquat et réaliser un serrage au couple recommandé sont des phases essentielles.
- Les connexions filetées. La fuite est fréquemment due à un sous-serrage ou un sur-serrage de la connexion. Le correct couple de serrage doit être appliqué en conformité avec les instructions du fabricant.
- Les presse-étoupes.

Certaines conditions de service de groupes ne permettent pas de contrôler les fuites :

- La présence de glace ou de gaine d'isolation sur certains composants entraîne une diffusion du gaz à travers celle-ci.
- Certains sites ne fonctionnaient pas en pleine puissance.
- L'accès à certains composants peut être difficile voire impossible.
- Sur un site, un incident est survenu, saturant l'air ambiant (perte d'une partie de la charge – mesure sans objet).

- L'appareil de mesure (cas pour les gaz fluorés) analyse toutes les liaisons C-H. Les solvants de certaines mousses pour le calorifugeage perturbent les mesures.
- Dans le cas du CO₂, afin de s'affranchir des problèmes causés par la respiration de l'opérateur qui entraîne parfois des apparitions de signaux de mesures, nous pouvons considérer que les mesures sont aisées au-delà de 2 g/an. Cependant, l'opérateur doit faire attention et faire le rapprochement avec un signal de mesure plus élevé s'il fait une expiration plus forte.

5. NORMES EXPERIMENTALES

A partir des différents résultats des campagnes d'essais en laboratoire, des mesures sur sites et d'autres phases du projet (qualification des brasures et diagnostic sur site par la méthode AMDEC - Analyse des Modes de Défaillances et de leur Criticité), la procédure d'essai de qualification des composants utilisés sur les installations fonctionnant avec un gaz fluoré développée et validée par le groupe de travail « Confinement » de la commission MFCE et par le CETIM a été proposée par le syndicat UNICLIMA en tant que norme française.

Les normes expérimentales XP E 35-424 *Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur - Qualification de l'étanchéité des composants* sont chacune applicable aux éléments suivants :

- XP E 35-424-1 : *Composants statiques (raccords, disques de rupture, assemblages à bride ou à raccord)*
- XP E 35-424-2 : *Composants semi-statiques (détendeurs, vannes et robinets, valves de remplissage, pressostats, soupapes de sûreté contre les surpressions)*

6. CONCLUSION

Ces travaux fournissent des éléments concrets pour la maîtrise du confinement des fluides frigorigènes. La meilleure connaissance du comportement des composants testés sur banc d'essai ou détectés sur sites a conduit à l'identification et la quantification des fuites. Ces résultats fournis aux partenaires industriels ont permis d'améliorer la conception de nombreuses pièces ou de connaître l'état général de leur installation. Un protocole de qualification des composants d'installations avec gaz fluoré a été élaboré et proposé à la normalisation. Deux normes françaises, l'une pour les composants statiques, l'autre pour les composants semi-statiques, sont applicables respectivement depuis février 2006 et décembre 2007.

REFERENCES

1. Confinement des installations frigorifiques – Convention ADEME: 02 74 009, juin 2006, CETIM Nantes, 363p.
2. Huchet A., Hermon C., Morio Y., 2007, Containment of refrigeration installations – Results of studies, *Proc. International Congress of Refrigeration, Beijing*, IIF/IIR, ICR07-B2-1098, pp 1-14.
3. Standard : XP E35-424-1 *Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur - Qualification de l'étanchéité des composants - Partie 1 : composants statiques (raccords, disques de rupture, assemblages à bride ou à raccord)*, Février 2006.

4. Standard : XP E35-424-2 *Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur - Qualification de l'étanchéité des composants - Partie 2 : composants semi-statiques (détendeurs, vannes et robinets, valves de remplissage, pressostats, soupapes de sûreté contre les surpressions)*, Décembre 2007.
5. Standard : NF EN 1779 *Essais non destructifs – Contrôle d'étanchéité – Critères de choix de la méthode et de la technique*, Décembre 1999.
6. Standard : NF EN 13185 *Essais non destructifs – Contrôle d'étanchéité – Méthode par gaz traceur*, Novembre 2001.