

Etude sur le confinement des fluides frigorigènes

Date de publication : 23 Juin 2015

Etude réalisée pour le compte de l'AFCE par le Cemafruid et IRSTEA et cofinancée par l'ADEME

N° de convention : 1481C0048

Rédacteurs : Eric Devin / Thomas Michineau / Florence Moulins / Frédéric Vannson / Laurence Fournaison / Romuald Hunlede / Denis Leducq / Anthony Delahaye

Coordination technique : François Heyndrickx – AFCE , Hélène Riviere-Kaluc –: Service Entreprise et EcoTechnologies, ADEME, Angers



RAPPORT FINAL

Remerciements

Nous tenons très sincèrement à remercier les membres du Comité de Pilotage :

Hélène RIVIERE-KALUC, Service Entreprises et Écotechnologies, ADEME

François HEYNDRICKX (Délégué général de l'Alliance Froid Climatisation Environnement)

Régis LEPORTIER, Laurent GUEGAN, Olivier ROBERT (Membres du Bureau de l'AFCE)

Nous tenons également à remercier l'ensemble des professionnels contactés dans le cadre de l'étude, notamment ceux rencontrés lors des visites sur site et ceux qui ont bien voulu répondre à l'enquête en ligne.

Copyright

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement des auteurs ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon de le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L122-10 à L122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Table des matières

RESUME POUR DECIDEURS	5
EXECUTIVE SUMMARY	7
INTRODUCTION.....	9
CONTEXTE	9
PERIMETRE OBJECTIF DU DOCUMENT	10
CIBLE	10
BENEFICE POUR LE LECTEUR	10
MOTS CLES.....	10
1. CONTEXTE DE L'ETUDE.....	11
1.1. OBJET DU RAPPORT	11
1.2. PRESENTATION DES ORGANISMES AYANT REALISE L'ETUDE	11
2. APPROCHE METHODOLOGIQUE DE L'ETUDE.....	12
2.1. SEGMENTATION PAR DOMAINE D'ACTIVITE ET PAR SYSTEME DE PRODUCTION FRIGORIFIQUE	12
2.2. FORMAT DES FICHES DE SYNTHESE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	13
2.3. ENQUETE EN LIGNE	13
2.4. FICHE D'INSPECTION.....	13
3. BIBLIOGRAPHIE ET SYNTHESE DE L'EXISTANT.....	14
3.1. NATURE DES DOCUMENTS ANALYSES	14
3.2. THEORIE SUR LES FUITES & PRINCIPALES METHODES DE DETECTION.....	17
3.3. SYNTHESE DES RESULTATS DISPONIBLES SUR L'IMPACT DES FUITES SUR L'ENVIRONNEMENT	20
3.4. SYNTHESE DES GUIDES ET PRECONISATIONS EXISTANTES.....	23
4. ANALYSE METROLOGIQUE DES SEUILS DE DETECTION	31
4.1. ANALYSE METROLOGIQUE DES MANOMETRES A AIGUILLES ET NUMERIQUE	31
4.2. INFLUENCE DES CONDITIONS D'UTILISATION DES DETECTEURS DE FUITE	34
4.3. ANALYSE DES SEUILS DE DETECTION PRECONISES	37
5. RESULTAT DE L'ENQUETE EN LIGNE.....	41
5.1. INTRODUCTION	41
5.2. NATURE DES INSTALLATIONS	41
5.3. RECUEIL DES DONNEES.....	42
6. EXPERTISE SUR SITE D'EQUIPEMENTS OU INSTALLATION	44
6.1. INTRODUCTION	44
6.2. RETOUR D'EXPERIENCE	45
7. PRECONISATIONS	52
7.1. BUREAUX D'ETUDE.....	52
7.2. INSTALLATION	53
7.3. EXPLOITATION (DETENTEUR D'EQUIPEMENT).....	53
7.4. MAINTENANCE (RESPONSABLE DE MAINTENANCE)	54
7.5. POUVOIR PUBLIC	56
8. REFERENCES.....	57

9. LISTE DES TABLEAUX.....	60
10. LISTE DES FIGURES.....	61
ANNEXES.....	62
ANNEXE 1 : MODELE DE L'ENQUETE EN LIGNE	62
ANNEXE 2 : MODELE DE RAPPORT DE VISITE.....	68
ANNEXE 3 : FICHES D'ANALYSE DES DOCUMENTS REFERENCES	70
ANNEXE 4 : FICHES DE VISITE COMPLETEES	70
ANNEXE 5 : FICHES PAR SECTEUR.....	70
ANNEXE 6 : LISTE DES EXPERTS DU CONSORTIUM AYANT PARTICIPE A L'ETUDE	76

RESUME POUR DECIDEURS

Les fluides frigorigènes sont indispensables pour le fonctionnement des installations de réfrigération et de climatisation.

Les fuites de frigorigènes, plus particulièrement les hydrofluorocarbures, ont un impact direct important sur le réchauffement climatique du fait de leur fort pouvoir de réchauffement planétaire mais également un impact indirect car l'efficacité énergétique des installations est affectée lorsque la charge en fluide frigorigène est inférieure à la charge nominale.

Cemafruid et IRSTEA, à la demande de l'AFCE (Alliance Froid Climatisation Environnement <http://www.afce.asso.fr/>) ont mené une étude sur le confinement des installations frigorifiques de septembre 2014 à mai 2015.

Cette étude sur le confinement a été réalisée en France, pays qui a mis en place des actions pour lutter contre les fuites bien avant la mise en place de la F-Gaz en 2006.

L'étude se base tout d'abord sur une recherche bibliographique approfondie sur les bonnes pratiques en matière de confinement sur un large panel d'équipements. Il a été observé une recrudescence des publications suite à la parution du règlement F-Gas en 2006, accentuée par la valorisation des projets REALZero(2009) et REALSkills (2011).

Cette étude bibliographique a permis de recenser l'ensemble des documents scientifiques et techniques traitant du confinement des installations. Les composants les plus fuyards systématiquement incriminés dans les études ont été recensés.

De manière générale, peu de publications traitent le sujet du confinement des fluides frigorigènes dans les installations frigorifiques. Les études de terrain sont peu nombreuses et plutôt anciennes. Il était donc nécessaire de faire un état des lieux du confinement des installations frigorifiques en s'appuyant sur des données collectées sur le terrain.

Les auteurs ont développé une approche générale d'estimation des taux de fuites en se basant sur la littérature existante et sur un questionnaire en ligne envoyé à plus de 500 installateurs/mainteneurs d'installations frigorifiques en France disposant d'une attestation de capacité. Le taux de réponse est de l'ordre de 5 à 7 % ce qui est équivalent aux résultats d'une étude similaire menée au Royaume-Uni. Ce faible taux de participation peut s'expliquer par le fait que le confinement des installations reste un sujet sensible, aussi bien pour les frigoristes que pour les détenteurs d'installation, bien que les auteurs de l'étude aient prévu des accords de stricte confidentialité des données fournies. Par ailleurs, les professionnels contactés ont fait état d'un manque de ressource pour compléter l'enquête.

Les résultats de l'enquête en termes de taux de fuite sont en ligne avec la littérature sur le sujet. Il a été très difficile de rédiger des conclusions sur les taux de fuites hors accidentologie, car les recharges de fluide, consignées dans les fiches d'intervention, concernent essentiellement des pannes sévères ayant entraîné des fuites très importantes.

Au regard de l'échantillon, il ressort tout de même de cette enquête que le niveau de fuite dépend de la technologie de froid. Les systèmes à détente directe sont plus sujets aux fuites. Les composants constitutifs d'un ensemble utilisé en réfrigération et conditionnement d'air ne sont pas intrinsèquement fuyards. C'est l'assemblage qui est remis en cause. Ainsi, le couple de serrage est une donnée importante fournie par le constructeur et qu'il faut respecter en utilisant une clé dynamométrique.

Le détecteur de fuite électronique est le matériel de détection le plus utilisé. Il doit répondre à des critères de sensibilité et d'étalonnage précis imposés par la législation et normes associées. Il nécessite du soin, du contrôle et de la maintenance pour garantir sa précision. Pour être et rester efficace, il doit être correctement utilisé et entretenu.

Une des constats principaux issus de l'étude porte sur le fait que l'impact des fuites sur l'environnement est surtout dû aux quelques grosses fuites plutôt que sur la multitude de petites fuites de l'ordre de 5 g/an. Dans le même temps, il est plus nocif pour l'environnement de vouloir réparer une fuite de 5 g/an plutôt que de la laisser fuir pendant 15 ans. Cela pose le problème du seuil de détection des détecteurs électroniques. Des pistes techniques sont également proposées dans le rapport, notamment sur les vannes d'isolement dans les installations.

Les contrôles d'étanchéité devraient être normalisés, standardisés (en terme de durée, exhaustivité) et les méthodes de détections croisées permettant d'assurer l'exhaustivité du contrôle (gaz traceur, méthodes indirectes), notamment pour les grosses fuites, devraient être généralisées.

Cette approche générale par étude bibliographique puis enquête en ligne a été complétée par une vingtaine de visites sur site sur des installations dans tous les domaines du froid. Ces visites ont permis aux auteurs :

- d'identifier quels étaient les composants les plus sujets aux fuites,
- d'identifier les bonnes pratiques par secteurs d'activités
- d'analyser les contrats de maintenance et la qualité des prestations de maintenance
- d'avoir une vision des problématiques et enjeux du côté des détenteurs mais également des intervenants techniques

La majeure partie des installations visitées n'était pas conformes par rapport au suivi en service des équipements sous pression. Les installations conformes, subissant des contrôles périodiques étaient beaucoup mieux entretenues.

Il existe de grande disparité en termes de maintenance selon le secteur d'activité considéré. Quel que soit le domaine, les experts ont fait des remarques sur la qualité des renseignements fournis dans les fiches d'intervention. Les causes de fuites ne sont pas toujours explicitées. Certaines fuites constatées ne font pas l'objet d'une réparation avant recharge. Par ailleurs, les visites menées lors de cette étude ont permis de promouvoir certaines bonnes pratiques de confinement d'installation en service qui mériteraient d'être généralisées.

EXECUTIVE SUMMARY

- Refrigerants are essential to the operation of refrigerating and air-conditioning plants.
- Leakage of refrigerants, especially hydrofluorocarbons, has a direct and major impact on global warming due to their high global warming potential but also an indirect impact as the energy efficiency of the plants is affected when the refrigerant load is less than the nominal load.
- Cemafruid and IRSTEA, at the request of AFCE (Alliance Froid Climatisation Environnement <http://www.afce.asso.fr/>), conducted a study from September 2014 to May 2015 on the containment of refrigerating plants.
- This containment study was conducted in France, a country which has taken a number of steps to reduce leakage well before the implementation of F-Gas in 2007.
- The study was initially based on an in-depth literature review of good practices in containment on a wide range of equipment. An increase in publications was observed following the publication of the F-Gas Regulation in 2006, intensified by the valorisation of the REALZero(2009) and REALSkills (2011) projects.
- This literature review enables to analyse a wide range of scientific and technical documents dealing with containment. Leaky components have been systematically identified.
- In general, little scientific research has been published on this subject. Field studies are quite limited and old. It was therefore needed to perform a comprehensive update on practices regarding containment based on reliable data from the field.
- The authors developed an overall approach to estimate leak rates based on the current literature and an online questionnaire sent to more than 500 refrigerating equipment installation/maintenance companies throughout France holding a qualification certificate. The response rate is in the range of 5 to 7 %, which is consistent with the results of a similar study conducted in the UK (see Datasheet 7). This low participation rate can be explained by the fact that the containment of facilities remains a sensitive issue for both the refrigeration specialists and the facility owners, although the authors of the study established strict confidentiality agreements regarding the data supplied. In addition, the professionals who were contacted mentioned a lack of resources to complete the survey.
- The results of the survey in terms of leakage rates are in line with the relevant literature. Drafting conclusions on non-accident related leakage rates was difficult because the refrigerant refills, as recorded on the worksheets, essentially relate to heavy failures causing significant leakage.
- The survey shows that leakage rate depends upon the refrigeration technology used. Direct expansion systems are more subject to leakage. Components of refrigerating plant are not intrinsically leaky but assembly is subject to debate. Tightening torque is an important data given by the manufacturer and has to be respect by using a torque spanner.
- Electronic leak detector is the most commonly used as detection device. It should meet strict accuracy and calibration requirements based on regulatory obligations and associated standards. It requires care, verification and maintenance in order to guarantee its accuracy. To be and remain efficient it should be correctly used and maintain.
- One the main report recommendations refers to the fact that the impact of leakage on the environment is due to, for a great extent, to few huge leakages rather than a multitude of small leaks (leakage rate of 5g/year or less). At the same time, it is more harmful for the environment to repair a leakage with a leakage rate of 5g/year rather than letting it leak. It raises the issue of detection threshold of leak detector.

- Leak tests should be standardized in terms of duration, completeness and reliability. In this regard, cross leak test should be widespread.
- This overall approach was supplemented by site visits, which enabled:
 - to identify which components were most susceptible to leakage;
 - to identify good practices by sector of activity;
 - to review maintenance contracts and the quality of maintenance services;
 - to gain insight on the problems and issues both on the owners' and on the technical experts' sides.
- A vast majority of refrigerating plant was not compliant with regulation concerning the monitoring of under pressure equipment (Pressure Equipment Directive). Compliant installations, facing periodic control, were significantly well maintained.
- There are significant disparities in terms of maintenance depending on the sector. Whatever the sector, experts who performed audit have pointed out the quality of the information provided in operation sheets. Leakage causes are not always identified. Several leakages are not fixed before reloading the plant with refrigerant. Finally, technical visits allow us to promote containment good practices that worth considering more generally.

INTRODUCTION

Contexte

Cette étude sur le confinement a été réalisée en France, pays qui a mis en place des actions pour lutter contre les fuites bien avant la mise en place de la F-Gaz en 2007 :

- 1989 : Mise en place de la convention « fluides ». Cette convention a été signée par le ministre de l'environnement, l'association française du froid (AFF), les utilisateurs des substances au sein de la Commission nationale CFC de l'AFF. Dans cette convention les distributeurs s'engagent à reprendre les fluides usagés aux frigoristes (avec indemnisation). Les fluides repris par les distributeurs sont ou régénérés ou détruits.
- 1992 : parution du décret du 7 décembre 1992 (ce décret définit entre autres des conditions de capacités auxquelles le personnel manipulant les fluides doit répondre)
- 1993 : la convention est remaniée pour introduire la notion de forfait de récupération à inclure dans le prix du kg de fluide vendu (participation aux coûts librement déterminée par chacun des distributeurs).
- 1998 : mise en place du rapport de l'ADEME d'inventaire et prévision selon différents scénarios des émissions de HFC utilisés comme fluides frigorigènes.
- 2007 : La France a été l'un des premiers pays à mettre en place la F-gaz : Décret 2007-737 du 7 mai 2007 relatif à certains fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques, abrogé et remplacé par articles R543-75 à 123 du Code de l'Environnement concernant les fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques. Ce décret est complété par :
 - Arrêté du 7 mai 2007 : Contrôle d'étanchéité
 - Arrêté du 20 décembre 2007 : Déclaration annuelle
 - Arrêté du 20 décembre 2007 : Agrément des organismes agréés
 - Arrêté du 30 juin 2008 : Délivrance des attestations de capacité
 - Arrêté du 13 octobre 2008 : Attestation d'aptitude
- 2007 L'ADEME lance l'étude de préfiguration à la création de l'Observatoire des fluides frigorigènes
- 2008 : L'ADEME crée l'Observatoire des fluides frigorigènes. L'outil informatique déclaratif permet la déclaration annuelle des producteurs, distributeurs et organismes agréés à l'ADEME conformément aux dispositions de l'arrêté du 20 décembre 2007 relatif à la déclaration annuelle

Le nouveau règlement F-Gaz (517/2014) paru au Journal officiel du 20 mai 2014 concernant les gaz à effet de serre fluorés contient de nombreuses dispositions relatives à la manipulation des gaz à effet de serre (GES) fluorés. Il impose les conditions à la mise sur le marché de certains produits et équipements en contenant ou qui en sont tributaires, impose les conditions de certaines utilisations spécifiques et fixe les limites quantitatives pour la mise sur le marché des HFC.

Le nouveau règlement renforce la nécessité de confiner les installations, d'améliorer la détection des fuites, leur réparation immédiate et la tenue de registres portant sur les interventions liées aux fluides.

L'article 3 du nouveau règlement F-Gaz indique notamment que les exploitants d'équipements contenant des gaz à effet de serre fluorés prennent des précautions pour éviter le rejet accidentel (dénommé "fuite") de ces gaz. L'équipement ou installation ayant fait l'objet d'une fuite doit non-seulement être réparé dans les meilleurs délais, mais l'équipement ou l'installation doit être contrôlée, par une personne certifiée, dans le mois qui suit la réparation.

La raréfaction de certains gaz, due au phase-down des HFC à fort pouvoir de réchauffement planétaire (PRP), entrainera une augmentation mécanique des prix de ces fluides. Le confinement est donc un enjeu majeur.

Périmètre objectif du document

Le présent document vise à faire le point sur le confinement des installations frigorifiques.

Cible

- Les décideurs de chaque domaine d'application de la réfrigération et de la climatisation.
- Les fonctionnaires de l'état français et de la Commission Européenne sensibles à la problématique du confinement des installations frigorifiques
- Les cadres d'entreprise en charge des évolutions réglementaires associées aux choix des fluides frigorigènes.
- Les associations professionnelles du froid et de la climatisation.
- Les consultants des entreprises spécialisées sur l'analyse des impacts environnementaux des fluides frigorigènes.
- Les organisations non gouvernementales spécialisées sur les questions environnementales.
- Les organismes internationaux comme le Programme des Nations Unies pour l'Environnement
- Les organismes de formation.

Bénéfice pour le lecteur

- Prendre conscience de l'importance du confinement des installations dans l'atteinte des objectifs environnementaux
- Connaitre les plus grandes causes de fuites par architecture technique
- Disposer d'outils permettant d'améliorer sur le plan pratique le confinement d'un équipement à tous les stades de sa vie
- Disposer de préconisations sur les bonnes pratiques (documentaires ou techniques) relevées lors de l'enquête.

Mots clés

Fluide frigorigène, HFC, HFO, CO₂, ammoniac, hydrocarbures, GWP, PRP, compression de vapeur, fluides à faible GWP, réglementation F-GAS, confinement, fuites, détection, sécurité, pompe à chaleur, PAC, climatisation, système frigorifique.

1. Contexte de l'étude

1.1. Objet du rapport

L'AFCE est une association loi 1901 qui promeut un usage responsable des fluides frigorigènes. A ce titre, elle suit les travaux réglementaires relatifs aux HFC et d'une manière générale concernant toutes les techniques de production de froid.

Les fluides frigorigènes sont indispensables pour le fonctionnement des installations de réfrigération et de climatisation. Les taux de fuites, pour un grand nombre d'applications, sont peu connus, si ce n'est par leur propriétaire. Si les équipements chargés en usine sont testés par le fabricant et sont, a priori, hermétiques, les installations montées puis chargées sur le terrain peuvent être sujettes à des taux de fuites supérieurs à 30 % par an. Une étude récente a démontré que l'étanchéité intrinsèque des composants ne pouvait être mise en cause mais que le bon confinement d'une installation dépendait de leur mise en œuvre, puis de la conduite de l'installation et de sa vétusté.

Les préconisations formulées dans ce rapport s'adressent d'une part au pouvoir public mais également à l'ensemble des acteurs intervenants durant la vie de l'installation :

- Les bureaux d'étude, concepteurs de l'installation
- Les installateurs
- Les exploitants
- Les mainteneurs

L'étude vise le territoire français et les installations chargées en fluides halogénés (HCFC, HFC) mais également les fluides dits naturels¹ (CO₂, Ammoniac et hydrocarbures). Elle porte également sur les équipements chargés en usine.

1.2. Présentation des organismes ayant réalisé l'étude

Le consortium à l'origine de cette étude est constitué du Cemafruid, centre d'expertise de la chaîne du froid, et d'IRSTEA, centre de recherche en génie frigorifique.

Ces deux entités ont des compétences complémentaires et des personnels qui ont une grande connaissance des systèmes frigorifiques, un réseau relationnel avec l'ensemble des parties prenantes : ministères, commission européenne, grandes entreprises du génie climatique et frigorifiques, grandes entreprises utilisatrices, syndicats professionnels.

Par ailleurs, les activités de ces organismes sont indépendantes des activités de fabrication et de commercialisation des technologies visées par l'étude, ce qui garantit une évaluation impartiale et indépendante de l'état de l'art des techniques. Les experts ayant participé à l'étude sont présentés en Annexe 6.

¹ Les fluides dits naturels sont décrits comme tels car ils n'ont pas d'impacts sur l'environnement mais restent des composés synthétisés chimiquement

2. Approche méthodologique de l'étude

2.1. Segmentation par domaine d'activité et par système de production frigorifique

L'ensemble des applications du froid et de la climatisation peuvent être décomposées en 7 grands domaines d'application :

- Le froid domestique ;
- Le froid commercial ;
- Les transports frigorifiques ;
- Le froid industriel (IAA) ;
- Les systèmes de climatisation ;
- Les pompes à chaleur et
- La climatisation mobile.

Au sein de ces domaines, différents types d'installations ou d'équipements sont utilisés, se différenciant par des technologies différentes (ex : compresseur centrifuge, compresseur volumétrique), des structures de systèmes différentes (système à détente directe, système indirect incluant une, voire deux boucles frigoporteuses) ou des fluides frigorigènes différents.

L'objectif de l'étude étant d'étudier le confinement des installations frigorifiques, une liste des systèmes de production frigorifique et des sous-segments, ayant des règles de confinement communes, a pu être établie. Chaque sous-segment est rattaché à un ou plusieurs domaines d'application. Dans les 7 grands domaines d'applications, 4 systèmes de production et 10 segments ont été identifiés et sont listés dans le tableau 1.

TABLEAU 1. TYPOLOGIE D'ARCHITECTURE DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES

Système de production frigorifique	Segments	Domaines d'application
Système hermétique chargé d'usine	Equipement monobloc	Froid domestique, Froid commercial, PAC, Climatisation (type window, console, mobile), Rooftop
Centrale de production	Détente sèche/condensation à distance	IAA, Chillers, Froid commercial (meuble à froid déporté)
	Détente sèche/condensation en salle des machines	
	Régime noyé/condensation à distance	
	Régime noyé/condensation en salle des machines	
Système embarqué	Système Poulie moteur	Transport frigorifique
	Système autonome	
	Système de climatisation mobile	Climatisation automobile, train, bus
Splits	Faible puissance (< 17,5kW)	Chambre froide, climatisation, PAC
	Forte puissance (>17,5kW)	

2.2. Format des fiches de synthèse des références bibliographiques

Les références bibliographiques sont issues des bases de données du Cemafruid, d'Irstea et des bases de données scientifiques telles que ScienceDirect (ELSEVIER) ou Fridoc (Institut International du Froid).

Titre	Titre du Document		
Date	Date de publication	N° fiche :	1
Auteur		Affiliation :	
Nature :	Type de document : article scientifique, article technique, rapport d'étude, ...		
Source :	Editeurs		
Résumé :	Résumé du document		
Domaine d'application	Tel que défini dans la segmentation		
Frigorigène :	Classification ASHRAE du fluide si disponible sinon famille de fluide		
Type de machine :		Syst. hermétique :	
Préconisations			
Remarques			

2.3. Enquête en ligne

Une enquête en ligne (Cf modèle en Annexe 1) a été réalisée à partir d'octobre 2014 auprès de 500 participants pour identifier les causes de fuites selon le domaine d'application et le système de production frigorifique définie dans la segmentation.

Pour préserver la représentativité de l'enquête, un soin particulier a été apporté dans la sélection des installations selon le domaine d'activité et le système de production de froid.

Les auteurs de l'étude ont également proposé aux participants des accords de stricte confidentialité des données fournies.

2.4. Fiche d'inspection

Pour compléter les informations obtenues dans le cadre de l'enquête en ligne, le Cemafruid a sélectionné des installations pour effectuer des visites sur site. Ces visites ont été réalisées par des auditeurs frigoristes. Le modèle de rapport de visite se trouve en annexe 2.

Au cours de ces visites, la documentation technique de l'installation a été consultée ainsi que les fiches d'interventions. Quand cela était possible, les experts ont pu consulter le contrat de maintenance pour vérifier la fréquence et les points de contrôles périodiques effectués.

3. Bibliographie et synthèse de l'existant

3.1. Nature des documents analysés

La liste complète des documents analysés est fournie en référence.

3.1.1. Contenu des documents

Les documents analysés portent sur différents thèmes :

- Méthode de calcul des taux de fuite ;
- Données sur les taux de fuite ;
- Méthode de mesure des taux de fuites ;
- Guide des bonnes pratiques ;
- Préconisations ;
- Impact environnemental.

La ventilation est donnée dans le tableau 2.

TABLEAU 2. THEMES ABORDES DANS LES DOCUMENTS ANALYSES

N°de fiche	Méthode de calcul de taux de fuites	Donnée taux de fuite	Méthode de mesure	Guide de bonne pratique	Préconisations	Impact environnemental
1	X	X	X		X	X
2	X			X	X	
4	X	X	X	X	X	
5		X			X	
6		X				
7		X				
8	X	X				X
9	X	X				
10						
11	X	X				
12	X	X	X			X
14		X			X	
15	X					X
16					X	
17	X	X	X			
18		X				
19		X	X			X
20		X				
21					X	

N° de fiche	Méthode de calcul de taux de fuites	Donnée taux de fuite	Méthode de mesure	Guide de bonne pratique	Préconisations	Impact environnemental
22		X				X
23		X		X	X	
24						X
25	X		X			X
26						X
27	X	X	X		X	X
28	X				X	X
29						X
30	X					X
31	X					
32						
33				X	X	
34				X	X	
35	X			X	X	X
36				X	X	
37				X	X	
38	X				X	X
39		X		X		
40	X	X			X	
41						X
42	X			X	X	
43				X	X	
44			X			X
45					X	X
46	X					X
47				X	X	
48						
49						X
50						
51		X			X	X
52		X				X
Total	19	20	8	11	21	22

3.1.2. Typologie

La majorité des documents référencés sont des articles scientifiques. On trouve aussi plusieurs rapports d'études liés au confinement des installations frigorifiques, ainsi que de nombreux guides de bonnes pratiques (plusieurs de ces guides proviennent du projet REAL SKILLS Europe).

TABLEAU 3. NATURE DES DOCUMENTS

Nature du document	Nombre
Article colloque	1
Article journal	1
Article scientifique	18
Guide de bonnes pratiques	10
Note technique	2
Présentation	4
Rapport d'étude	11
Site internet	1
Synthèse de données	1

40 % des contributions proviennent de trois organismes:

- Institute of Refrigeration (22 %),
- Cetim (8 %),
- Ecole des Mines (10 %)

17 articles (soit 34 %) traitent un type de machines déterminé, 15 concernent la détente directe et 2 le refroidissement indirect.

Ce qu'il faut retenir

De manière générale, peu de publications traitent le sujet du confinement des fluides frigorigènes dans les installations frigorifiques. Les études de terrain sont peu nombreuses et plutôt anciennes. Il était donc nécessaire de faire un état des lieux du confinement des installations frigorifiques en s'appuyant sur des données collectées sur le terrain.

3.1.3. Date de publication

On remarque une augmentation significative des publications sur le sujet du confinement après la sortie de la F-Gaz (2006), accentuée par la valorisation des projets REALZero(2009) et REALSkills (2011).

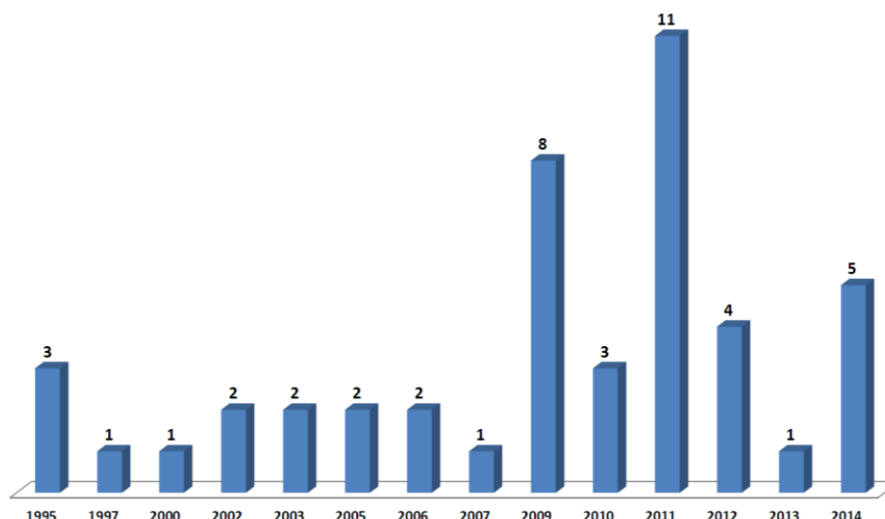


FIGURE 1. VENTILATION DES DOCUMENTS PAR DATE DE PUBLICATION

3.2. Théorie sur les fuites & principales méthodes de détection

Ce paragraphe décrit les éléments théoriques issus de publications référencées dans le présent rapport.

3.2.1. Les différents types de fuites

Une fuite correspond à un transfert de fluide (gaz ou liquide). Il existe 2 types de fuites :

- Fuite par perméation : il s'agit d'une fuite à travers une paroi poreuse
- Fuite interfaciale : il s'agit d'une fuite due à un passage (fissure, rayure, corps étranger créant un passage, sous serrage de 2 composants assemblés...)

En règle générale, la fuite par perméation est négligée devant la fuite interfaciale car la migration d'un fluide est souvent beaucoup plus lente sauf dans le cas d'une fuite au niveau des flexibles qui ont souvent des parois en élastomère pouvant devenir poreuses au fil du temps.

3.2.2. Les principales méthodes indirectes de détection de fuite

L'article 7 du règlement européen n° 1516/2007 propose une liste de méthodes Indirectes :

- la mesure par chute de pression
- la mesure par remontée de pression
- le contrôle des paramètres de fonctionnement de l'installation
- l'utilisation de détecteur d'ambiance

Ces méthodes permettent d'indiquer la présence d'une fuite, sans la localiser.

Mesure par chute de pression

Afin de connaître l'étanchéité globale du système, avant l'opération de tirage au vide, et de charge de l'installation, celle-ci est mise sous pression maximale de service, à l'aide d'un gaz inerte, le plus souvent de l'azote. On regarde ensuite l'évolution des pressions, mais aussi de la température. En effet, une variation de la température peut influencer la pression du gaz, et donc mener à une erreur de résultat.

Le tableau ci-dessous montre la variation de la pression en fonction de la température (le volume est constant) pour l'azote :

TABLEAU 4. EVOLUTION DE LA PRESSION EN FONCTION DE LA TEMPERATURE POUR L'AZOTE

Température ambiante (°C)	Pression (bar)
20	25
21	25,09
22	25,18
23	25,27
24	25,36
25	25,45

Ce tableau montre l'importance du suivi de la température, car les températures ambiantes varient dans la journée et ont une conséquence sur les installations frigorifiques. Un écart de 1 K provoque une variation de pression de 90 mbar. Dans le cadre de l'étude, des essais dans les laboratoires d'IRSTEA ont été menés pour vérifier les seuils de détection de chute de pression (Cf. paragraphe 4.1).

Mesure par remontée de pression

La mesure par remontée de pression s'effectue à la suite d'un tirage au vide de l'installation. Une fois le vide désiré obtenu, on ferme les vannes du manomètre, on arrête la pompe à vide, puis on regarde si la pression remonte. Cette méthode pose toutefois un problème car, si l'installation a une fuite, on contribue à une introduction d'air dans l'installation.

Le contrôle des paramètres de fonctionnement

L'utilisation du manomètre et du thermomètre, bien qu'ayant une incertitude élevée, permet de réaliser un contrôle de fonctionnement de routine.

De nouvelles solutions, s'appuyant sur les méthodes indirectes précitées sont désormais disponibles sur le marché en ajoutant une analyse des paramètres de fonctionnement de l'installation tels que les températures d'évaporation et de condensation, la surchauffe et le sous refroidissement.

Utilisation de détecteur d'ambiance

L'utilisation d'un détecteur d'ambiance fait partie des méthodes indirectes citées par le règlement européen n° 1516/2007 - article 7, paragraphes 3. En France, il est préconisé par l'arrêté du 7 mai 2007. Le règlement européen n° 842/2006 (article 3, paragraphe 3) impose l'utilisation d'un détecteur fixe pour les installations contenant plus de 300 kg de fluide frigorigène fluoré.

La conception des détecteurs d'ambiance actuelle oblige à les placer près d'un point de fuite potentiel. Il faut également tenir compte du déplacement du gaz (dépendant de la densité du gaz) dans l'air ambiant afin de placer le détecteur fixe le plus judicieusement possible.

Ces équipements doivent être éloignés de plus de 50 cm d'un ventilateur et éloignés des sources de chaleur. Un détecteur d'ambiance ne doit pas être placé dans un courant d'air. Il faut donc tenir compte de 2 contraintes : d'une part la qualité de la détection qui nécessite une pièce étanche sans courant d'air et, d'autre part, les contraintes liées à la norme NF EN 378 qui impose un système de renouvellement d'air approprié au fluide utilisé et à sa nocivité.

3.2.3. Les principales méthodes directes de détection de fuite

Les méthodes de localisation des fuites sont nombreuses. Certaines permettent de réaliser une mesure et donc d'estimer le niveau de fuite locale, d'autres indiquent le dépassement ou non d'un seuil, soit prédéfini, soit estimé (de l'ordre de 5 g/an). Dans le cadre de l'étude, des essais dans les

laboratoires du Cemafruid ont été menés pour vérifier les seuils de détection des détecteurs de fuite (Cf. paragraphe 4.2).

Le règlement européen F-Gaz mentionne les méthodes directes suivantes : l'utilisation d'un dispositif de détection de gaz, de liquide fluorescent plus facilement visible aux ultraviolets, de colorant, de solutions moussantes ou d'eau savonneuse.

Ces méthodes sont associées à des techniques ou des appareils de différents types :

- Le détecteur mesureur, appareil complexe et onéreux qui permet de localiser, détecter et d'estimer la valeur de la fuite détectée ;
- Le détecteur électronique, appareil qui permet de détecter et localiser la fuite en indiquant le dépassement ou non d'une valeur de fuite déterminée ;
- Le produit moussant ou l'eau savonneuse, qui permettent de localiser une fuite importante ;
- Le fluide fluorescent qui permet de localiser une fuite par l'observation d'une tâche visible à l'aide d'une lampe UV.

Le tableau suivant répertorie les méthodes les plus répandues pour réaliser une recherche de fuite sur une installation frigorifique.

TABLEAU 5. COMPARAISON DES METHODES DE DETECTION

Méthode	Avantages	Inconvénients
Spray de recherche de fuite/eau savonneuse	Simple, pratique et peu onéreux. Idéal pour détecter les grosses fuites et permettre une maintenance rapide du matériel	Caractéristiques et sensibilité difficilement reproductibles
Additif fluorescent (injecté dans le système) et détecté par lampe UV	Simple à l'utilisation : on charge et on regarde à la lampe UV	Pas de possibilité de s'assurer de l'application du gaz traceur aux endroits susceptibles de fuir. Technique pouvant entrainer des casses de compresseur si l'huile n'est pas surveillée et remplacée régulièrement. Il faut impérative tenir compte de l'avis des fabricants de composants (compressoristes) quant aux aspects de compatibilité.
Détecteur électronique de fuite	Simple, pratique. Répond aux exigences réglementaire si qualifié selon la norme EN 14624.	Matériel qui peut être fragile et doit être étalonné régulièrement. Au-delà du seuil de détection, ne fait pas de distinction entre une grosse fuite et petite fuite
Détecteur mesureur	Matériel précis. Indique le niveau de fuite. Répond aux exigences réglementaires	Couteux. Formation lourde nécessaire avant de pouvoir l'utiliser.

Ce qu'il faut retenir

Il existe différentes méthodes de détection des fuites, indirectes et directes :

- *Les méthodes indirectes sont généralement utilisées lors de la mise en service d'une installation pour vérifier son confinement global ou bien comme méthode de suivi des paramètres de fonctionnement des installations. Ces méthodes permettent de confirmer la présence d'une fuite sans la localiser.*
- *Les méthodes directes restent impératives pour localiser les fuites. Le détecteur de fuite électronique est le matériel de détection le plus utilisé. Il doit répondre à des critères de sensibilité et d'étalonnage précis imposés par la législation et normes associées. Il nécessite du soin, du contrôle et de la maintenance pour garantir sa précision. Pour être et rester efficace, il doit être correctement utilisé et entretenu.*

3.3. Synthèse des résultats disponibles sur l'impact des fuites sur l'environnement

3.3.1. Banque de fluides

Le document [52] dresse un état de la banque mondiale, ainsi que des émissions de fluides frigorigènes. Il en ressort que les HFC dominent le marché avec 75 % de la banque (dont 40 % pour le R134a).

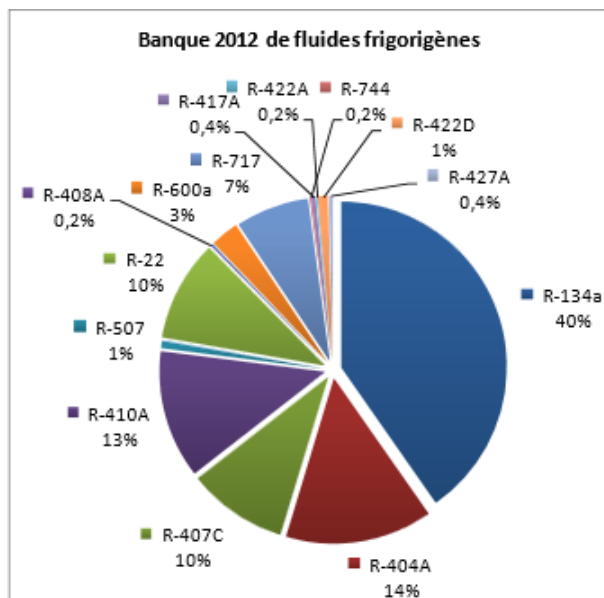


FIGURE 2. REPARTITION DES FLUIDES FORMANT LA BANQUE DE FLUIDE EN FRANCE METROPOLE.

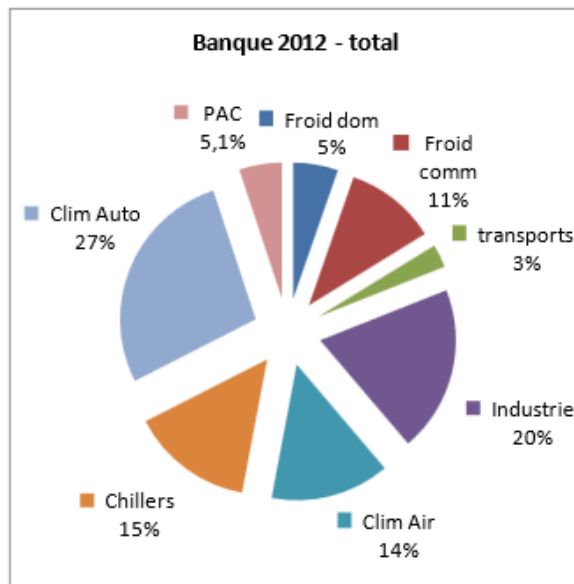


FIGURE 3. REPARTITION SECTORIELLE DE LA BANQUE DE FLUIDES FRIGORIGENES

3.3.2. Emissions direct

Le document [52] fournit un taux d'émission fugitive par domaine et sous-secteur.

Domaine	Sous-secteurs	Charge moyenne	Taux d'émission fugitive
Froid domestique	Réfrigérateurs	46 g	0.01 %
	congélateurs et combi	60 g	0.01 %
Froid commercial	Supermarché	0,2 kg/m2	30 %
	Hypermarché	0,14 kg/m2	35 %
	Groupes hermétiques petit commerces	0,3 à 3kg	1 %
	Groupes de condensation présents dans les petits commerces	2 à 20kg	15 %
Transport frigorifique	Groupes poulies-courroies utilisés dans les transports routiers	1,6kg	20 %
	Groupes autonomes	6,5kg	11 %
Industrie Agroalimentaire		100 kg à qq tonnes	15 %
Refroidisseurs d'eau	Faible puissance	0,3 kg/kW	10 %
	Moyenne et forte puissance	0,2 kg/kW	5 %
Climatisation	Individuelle de type mobile, window, console	0,5 à 1kg	2 à 5 %
	Individuelle Split faible puissance	1,5 kg	5 %
	Autonome (DRV)	9kg	10 %
	Autonome (Rooftop, split moyenne et forte puissance)	5 à 30kg	6 à 10 %
Pompes à chaleur	Résidentiel	2,5 à 15kg	2 à 5 %

TABLEAU 6. TAUX D'EMISSION FUGITIVE PAR DOMAINE ET SOUS-SECTEUR*

* tiré du rapport : Inventaires des Emissions des fluides frigorigènes FRANCE et DOM COM Année 2012, Armines, ERIE, Décembre 2013

3.3.3. Emissions indirectes

Lors d'une fuite, l'impact sur l'effet de serre provient non seulement de l'émission de fluides, mais aussi de l'effet indirect lié à la baisse de performance de l'installation. La part de l'effet indirect de la machine frigorifique est ainsi non négligeable lors de l'apparition d'une fuite. Toutefois une variation de la charge de moins de 20 % a peu d'incidence sur la consommation énergétique. Au-delà, la surconsommation est importante [26].

I.N. Grace et al. / Applied Thermal Engineering 25 (2005) 557–566

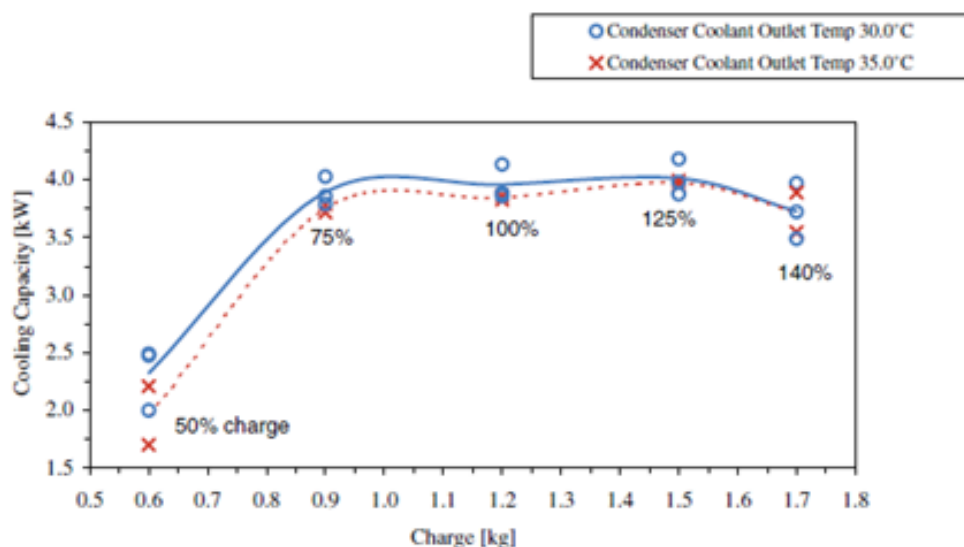


FIGURE 4. VARIATION DE LA PUISSANCE FRIGORIFIQUE EN FONCTION DE LA CHARGE EN FLUIDE

Sur la Figure ci-dessus, on constate que pour une perte de 25 % de la charge, la puissance est diminuée de 14 %, et pour une perte de 50 %, on observe une diminution de 40 % de la puissance frigorifique.

On notera que l'émission moyenne en équivalent CO₂ d'une pompe à chaleur au Royaume Uni est estimée supérieure ou égale à celle d'une solution chauffage par combustion de fioul [6].

Ce qu'il faut retenir

Il apparaît un taux de fuite mondial tout fluide confondu de l'ordre de 17 %. Les données sur les taux de fuites sont très disparates selon les documents analysés. Notamment pour le froid commercial avec des taux de fuite qui varient de 6,5 % à 30 % selon les publications. Lors d'une fuite, l'impact sur l'effet de serre provient non seulement de l'émission de fluides, mais aussi de l'effet indirect lié à la baisse de performance de l'installation.

3.4. Synthèse des guides et préconisations existantes

3.4.1. Les causes principales de fuites

Le niveau de fuite dépend de la technologie de froid. Les systèmes à détente directe sont plus sujets aux fuites.

Les contraintes thermiques (période de dégivrage des évaporateurs) entraînent une fatigue importante et des risques accrus de fuite au niveau des crosses des évaporateurs.

Les contraintes mécaniques sont importantes dans les installations de froid. Les phénomènes de coup de liquide ou de vibrations répétées peuvent occasionner des ruptures de tuyauteries à l'origine de fuite très importantes.

3.4.2. Facteurs aggravants

Les systèmes de détection en place n'alertent pas toujours le mainteneur de l'installation ce qui retarde une intervention rapide sur site.

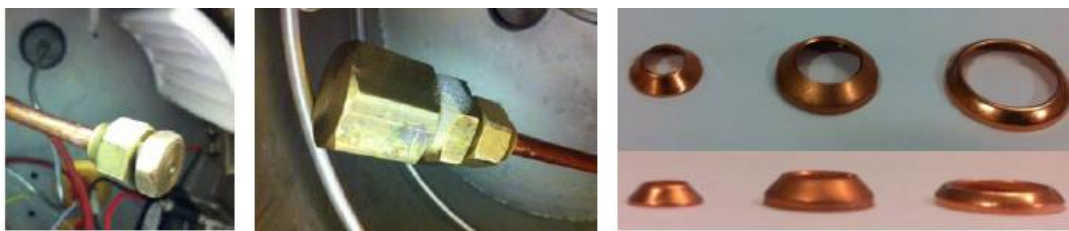
Les enveloppes financières allouées à la maintenance ne permettent pas toujours d'effectuer une maintenance de qualité.

3.4.3. Les principaux composants fuyards d'une installation frigorifiques

Par définition une étanchéité dynamique absolue n'existe pas : c'est un idéal vers lequel tend la technique.

De nombreux documents sont en accord avec les résultats du projet européen REALSKILLS Europe. Peu de documents fournissent des taux de fuites par composant. Le document [16] indique que les joints Flare (dudgeon) sont responsables de 50 % des pertes.

Le rapport de L'AHRTI [1] met en évidence le problème du couple de serrage de ces raccords. Des résultats de tests de serrage sont présentés ci-dessous:



Joints Flare 3/8 en test	Joints Flare 1/2 en test	3 tailles de joints
--------------------------	--------------------------	---------------------

FIGURE 5. ILLUSTRATION TEST DE SERRAGE

T [°C]	Pressure [kPa]	Torque [Nm]	Leak Flow Rate [g/yr] no.2	Leak Flow Rate [g/yr] no.3
50	1318	10	Huge leak	Huge leak
		20	0.057	Huge leak
		30	0.020	12.8
		40	NC	0.072

TABLEAU 7. TAUX DE FUITE DE JOINTS FLARE EN FONCTION DU COUPLE (EXTRAIT RAPPORT AHRTI [1])

Des taux de fuites importants sont présents lorsque le couple optimum de serrage n'est pas atteint. Les couples de serrage dépendent aussi de la façon dont le joint a été réalisé.

Le classement suivant a été effectué en fonction du nombre d'apparitions dans les documents, des éléments ayant causés des fuites:

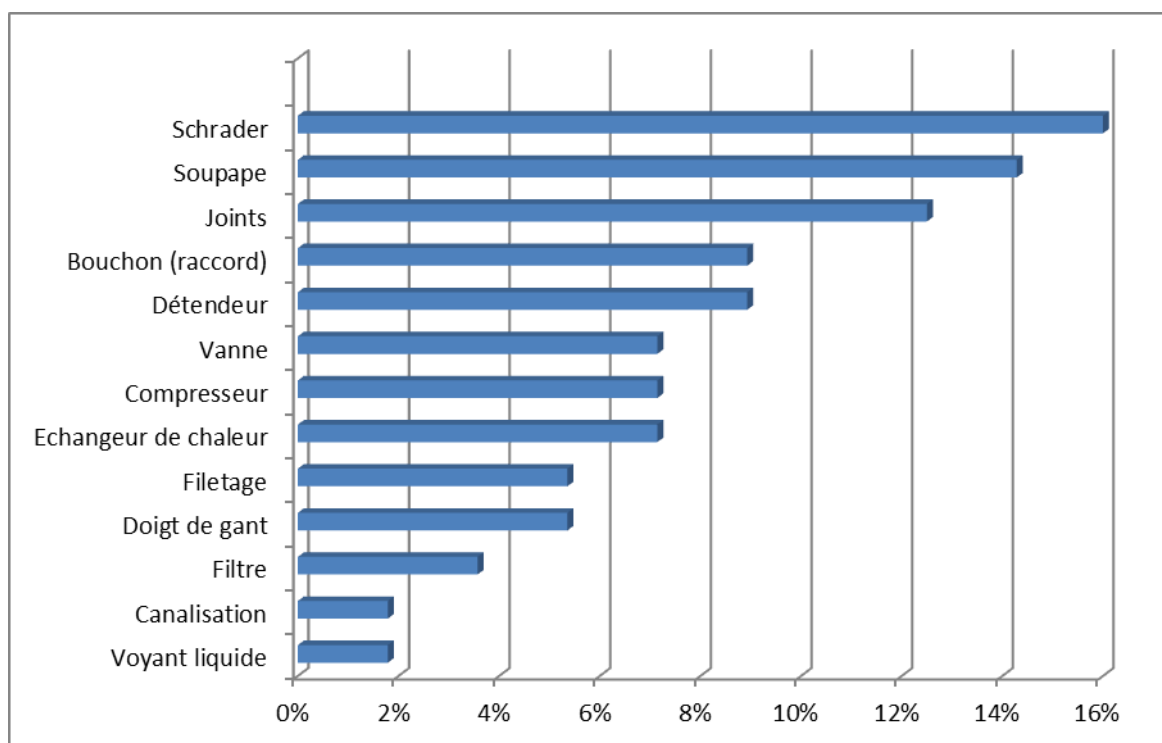






FIGURE 6. CLASSEMENT DES FUITES PAR ELEMENTS EN FONCTION DE LEUR APPARITION DANS LES DOCUMENTS REFERENCES



Ce classement est complémentaire du guide illustré des 13 causes de fuites les plus courantes présenté ci-après.



Ce qu'il faut retenir

- *Le niveau de fuite dépend de la technologie de froid ;*
- *Les systèmes à détente directe sont plus sujets aux fuites ;*
- *Les composants constitutifs d'un ensemble utilisé en réfrigération et conditionnement d'air ne sont pas intrinsèquement fuyards. C'est l'assemblage qui est remis en cause ;*
- *Le couple de serrage est une donnée importante fournie par le constructeur et qu'il faut respecter en utilisant une clé dynamométrique ;*
- *Suite à l'analyse des références bibliographiques, un classement des composants ayant entraîné le plus de fuites a pu être établi en fonction du nombre d'occurrences dans les documents. Ce classement correspond au guide des bonnes pratiques publié dans le cadre du projet européen Real Skills Europe [33] et présenté ci-après.*



Équipement/localisation de la fuite	Cause probable	Solutions
<p>Vanne d'isolement</p> 	<p>Usure de la garniture entre corps de vanne et tige qui devient plus compact en vieillissant</p>	<p>S'assurer que le presse-étoupe est serré</p> <p>Envelopper la vanne avec un chiffon mouillé pendant la brasure</p> <p>Veiller à ajouter systématiquement un capuchon</p>
<p>Vanne shraeder</p> 	<p>Ame de vanne endommagée lors du brasage</p> <p>Détérioration du joint interne au cours du temps</p> <p>Capuchon absent ou non équipé de joint torique</p>	<p>Retirer l'âme au cours du brasage; s'assurer que le corps a refroidi avant de déplacer l'âme</p> <p>Utiliser le bon outil pour replacer et étancher l'âme</p>

<p>Raccord Flare</p> 	<p>Desserrage de l'écrou par forte dilatation thermique due aux importantes variations de température (particulièrement pour ceux localisés en sortie de détendeur)</p> <p>Mauvaise préparation du dudgeon (créant une fuite dès la mise en route de l'installation)</p> <p>Serrage trop important de l'écrou qui entraîne la déformation du plan de joint en cuivre et de l'écrou</p> <p>Serrage trop faible du raccord Flare</p>	<p>Eviter, autant que faire se peut, l'utilisation de raccord Flare</p> <p>Utiliser des adaptateurs Flare à braser en s'assurant que le joint cuivre est bien placé</p> <p>Soigner la préparation du dudgeon en coupant et ébavurant le tube avec le matériel adapté,</p> <p>Vérifier la taille du dudgeon pour qu'il ne bloque pas l'écrou sur le tube</p> <p>Lubrifier le dudgeon et l'écrou avec un peu d'huile pour circuit frigorifique</p> <p>Utiliser une clé dynamométrique en serrant au couple indiqué par le fabricant</p>
<p>Jointes mécaniques et brides</p> 	<p>Assemblage mal réalisé, joint non remplacé</p> <p>Serrage de brides non parallèle</p> <p>Serrage de boulons avec mauvais couple</p>	<p>Ne pas utiliser de PTFE dans des installations au HFC. Utiliser une pâte à joint appropriée pour les filetages.</p> <p>Lors du remplacement des joints de brides, retirer tous les restes de joint de la surface avant de positionner le joint neuf</p> <p>Serrer les brides en appliquant le principe de serrage en opposition jusqu'à ce que les brides se touchent</p> <p>Utiliser une clé dynamométrique</p>

<p>Soupape et bouchons fusible (protection de surpression)</p> 	<p>Bouchons fusible : de forte variation de température/pression affaiblissent la liaison entre l'âme et le disque</p> <p>Soupape ne retrouve pas sa position initiale lorsque la pression retombe</p>	<p>Eviter l'utilisation des bouchons fusibles et remplacer par des soupapes</p> <p>Toujours contrôler l'étanchéité des soupapes.</p> <p>Utiliser des soupapes avec indicateur de décharge</p>
<p>Garniture d'étanchéité (cas des compresseurs ouverts)</p> 	<p>Usure générale de la garniture au cours du temps, augmentation de perte d'huile par le joint tournant</p> <p>Mauvaise lubrification</p> <p>Mauvais montage d'une garniture d'étanchéité neuve</p> <p>Mauvais lignage de l'arbre</p>	<p>Observation régulière du taux de fuite d'huile de la garniture dans le bouteillon récupérateur pour voir si la fuite augmente.</p> <p>Contrôle d'étanchéité de la garniture compresseur à l'arrêt</p> <p>Suivre la procédure de remplacement de la garniture</p>

<p>Condenseur</p> 	<p>Condenseur multitubulaire :</p> <p>Corrosion du cuivre et de l'acier doux si l'eau qui circule dans les tubes n'est pas traitée</p> <p>Condenseur à Air :</p> <p>corrosion due à un air agressif. Dommage par impact de corps étrangers sur les ailettes. Vibration générant des défauts prématurés du faisceau de tube</p>	<p>Observation régulière des points de corrosion.</p> <p>Vérification périodique du fluide caloporteur : (dosage chimique)</p> <p>Positionner les condenseurs à air de niveau</p> <p>Vérifier l'équilibrage des ventilateurs pour limiter les vibrations</p>
<p>Robinet autoperçant</p> 	<p>Mauvais montage du robinet sur le tube ou monté sur un tube aplati ou déformé.</p> <p>Robinet mal dimensionné</p> <p>Desserrage du robinet à cause des vibrations</p>	<p>Contrôler l'étanchéité des robinets et le remplacer si possible</p>

<p>Pressostat</p> 	<p>Vibration causant la rupture du connecteur ou la dégradation du pressostat</p> <p>Frottement du connecteur</p> <p>Rupture du soufflet à cause de vibrations ou d'efforts hydrauliques</p> <p>Défaut du raccord Flare</p> <p>Pressostat mal supporté ou mal fixé</p>	<p>Utiliser des raccords flexibles si possibles (flexibles tressés inox qui présentent un fort degré de solidité et de résistance au choc.</p> <p>S'assurer que le raccord ne touche ni frotte sur un autre tube ou une surface vibrante.</p> <p>Vérifier les fixations et supportage du pressostat</p> <p>Connecter le pressostat de telle sorte qu'il ne lui soit transmis aucune vibration</p>
<p>Joint torique</p> 	<p>Durcissement ou aplatissement par l'usage particulièrement si soumis à des températures extrêmes</p> <p>Fuite après un retrofit suite à la réaction avec une nouvelle huile.</p>	<p>Vérifier (circularité et flexibilité) et changer le joint si besoin</p> <p>Graisser le siège avant la pose du joint</p> <p>S'assurer que le joint est compatible avec le fluide et le type d'huile</p>

<p> Tubes capillaires (raccordement instrumentation ou éléments de détente) </p> 	<p> Frottement par manque de fixation Fuite au niveau du raccordement des deux extrémités du capillaire </p>	<p> Vérifier que les capillaires sont correctement montés et ne peuvent pas frotter </p>
<p> Crosses évaporateurs </p> 	<p> Corrosion par action chimique sur les crosses des batteries. Défaut de surface. Un environnement agressif accélère le phénomène et engendre une fuite </p>	<p> Contrôler l'étanchéité des crosses En cas de remplacement d'évaporateur, exiger un équipement plus résistant disposant de batteries protégées ou traitées chimiquement </p>

4. Analyse Métrologique des seuils de détection

4.1. Analyse métrologique des manomètres à aiguilles et numérique

Parmi les principaux outils du frigoriste, on retrouve le manomètre. Le manomètre sert à effectuer le contrôle de fonctionnement, avec l'aide d'un thermomètre.

Grâce à ces deux instruments, le frigoriste peut ainsi contrôler le fonctionnement d'une installation frigorifique. Toutefois ces instruments de mesure, le manomètre en particulier, n'étant pas très précis, ils peuvent conduire à des erreurs d'interprétation.

Pour illustrer cette interprétation des mesures, des essais dans les laboratoires d'IRSTEA ont été réalisés pour déterminer l'influence de la précision de mesure des manomètres à aiguilles et numériques et les conséquences en termes d'évaluation des fuites d'une installation.

4.1.1. Conditions de réalisation

Les essais ont été réalisés au sein du Laboratoire d'IRSTEA. Ils avaient pour but de vérifier le seuil de détection d'un manomètre à aiguilles et d'un manomètre numérique. Ces manomètres ont été raccordés à un équipement de laboratoire permettant d'augmenter ou de diminuer la pression à souhait, et de lire les valeurs sur un écran numérique (étalon Druck PC6-IDOS).

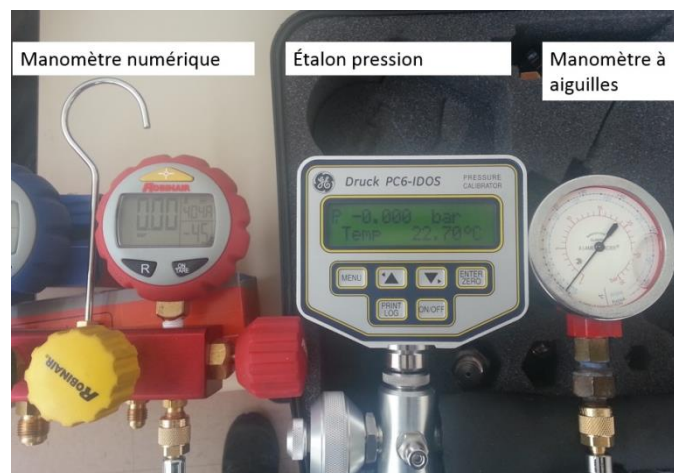


FIGURE 7. PHOTO DU DISPOSITIF D'ESSAIS

4.1.2. Matériel

Trois équipements ont été utilisés. Un manomètre numérique, un manomètre à aiguille, un étalon de pression, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau 7.

TABLEAU 8. CARACTERISTIQUES DES MANOMETRES UTILISES POUR L'ESSAI

	Numérique	Aiguille	Étalon
Plage d'utilisation	0 à 55,15 bar / 0 à 800 psi / 0 à 56,25 kg/cm ² / 0 à 5,515 MPa	-1 à 30 bar	-1 à 35 bar relatif
Précision (intervalle de confiance)	±1 % de la pleine échelle de 0 à 34,47 bar (0-500 psi) range	Classe 1= ±1 % de la pleine échelle soit : ±300 mbar	Classe 1= ±0,025 de la pleine échelle soit : ±8,75 mbar
	±2,5 % full pressure de 34,47 bar à 55,15 bar (500-800 psi) range		
Résolution (écart que l'on peut avoir entre deux points de lecture)	0,05 bar / 0,5 Psi / 0,05 kg/cm ² / 0,005 MPa / 0,1 inHg / 0,5 mmHg	1 bar	1 mbar
	Température : 1 °C / 1 °F	de -60°C à -40°C : 10K de -40°C à +20°C : 5K au-dessus de 20°C : 1K	Température: 1 K
Coût	300 euros	200 euros	4000 euros

4.1.3. Résultat des mesures

Une pression de 10,199 bars a été appliquée. Une chute de pression a été effectuée jusqu'à 74 mbar, cette chute de pression correspond au seuil de détection du manomètre numérique.

Sur la photo ci-dessous, une chute de pression de 74 mbar se traduit par une chute de pression de 50 mbar sur le manomètre numérique. Ceci est dû à la résolution du manomètre qui est de 0,05 bar.



FIGURE 8. RESULTAT AVEC MANOMETRE NUMERIQUE

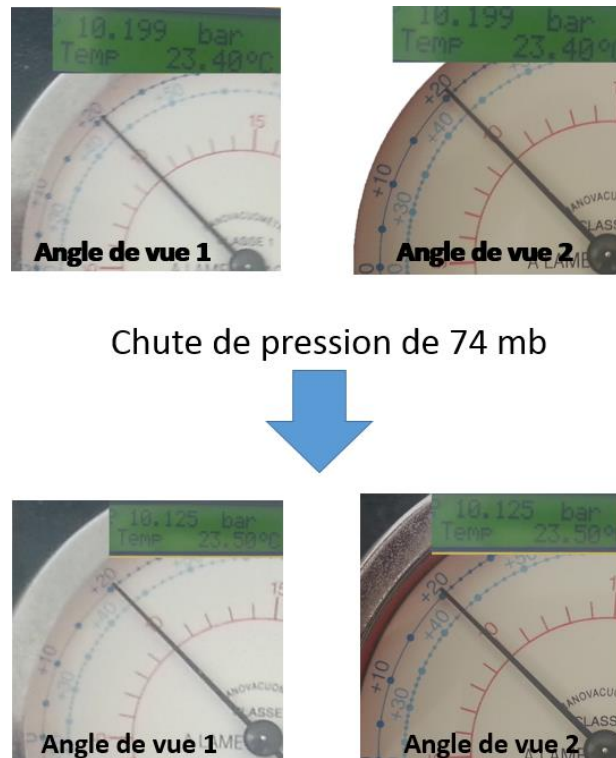


FIGURE 9. RESULTAT SUR LE MANOMETRE A AIGUILLE, AVEC DEUX ANGLES DE VUE DIFFERENT

On peut constater sur la figure ci-dessus, que la difficulté vient d'une part de la résolution, mais aussi de l'erreur d'interprétation que peut faire l'opérateur ; à cela s'ajoute l'erreur liée à la classe de précision de l'équipement (ici classe 1 donc $\pm 1\%$ de la pleine échelle).

- une pression de 74 mbar ne se voit pas sur l'échelle des pressions (résolution de un bar).
- On voit une légère diminution lorsque l'on regarde l'échelle des températures.

4.1.4. Interprétation des résultats sur un cas réel d'une installation frigorifique au R404A

Pour comprendre ce que cette chute de pression d'azote représente par rapport à une chute de pression au R404A, on prend les hypothèses suivantes :

- **Fluide R404A** à l'état gazeux ;
- on supposera que le R404A a un **débit de fuite 7 fois moins** important que l'azote (rapports des masses molaires) ; on prendra donc dans cet exemple une **fuite de 10 mbar** comme hypothèse de départ ;
- les conditions sont idéales, la température est **de 20°C** et ne varie pas ;
- les propriétés du fluide sont calculées à partir de **refcalc de Solvay fluor** ;
- P_1 = pression initiale ; P_2 = pression finale ;
- m_1 = masse initiale ; m_2 = masse finale ;
- v''_1 = volume massique initial, v''_2 = volume massique final.

Soit un volume de 100 litres, rempli de R404A (mélange homogène), la pression initiale est de 8 bar. 24 heures après, la pression est de 7,99 bar (en pratique, une installation de 25 kW peut avoir un récipient d'un volume de 100 litres).

La masse de fluide peut-être déterminée grâce aux propriétés des fluides :

Pour $P_1=8$ bar, à 20 °C, la masse de 100 l de R404A est de :

$$m_1 = \frac{V}{v''_1} = 3,766\text{kg}$$

Pour $P_2=7,99$ Bar, à 20 °C, la masse de 100 l de R404A est de :

$$m_2 = \frac{V}{v''_2} = 3,7608\text{kg}$$

La perte de masse et donc de $m_1 - m_2 = 5\text{g}/24\text{h}$

Soit 2 kg de fluide frigorigène sur 1 an.

Ce qu'il faut retenir

- *Les essais en laboratoire ont permis de démontrer que, malgré des conditions idéales, les manomètres à aiguilles ne pourront détecter que des fuites équivalentes à 2kg/an sur une installation pouvant contenir 20kg de fluide R404A.*
- *Cette méthode de détection ne peut donc se substituer aux contrôles d'étanchéité par méthode directe à réaliser sur l'ensemble de l'installation, aussi bien lors de la mise en service d'une installation, que lors du contrôle périodique.*

4.2. Influence des conditions d'utilisation des détecteurs de fuite

Dans le cadre de l'étude, les métrologues du Cemafroid ont cherché à déterminer l'influence de la méthode d'utilisation des détecteurs de fuite sur la performance des instruments de mesure.

4.2.1. Conditions de réalisation

L'étude a été réalisée au sein du Laboratoire de Métrologie du Cemafroid.

Données du laboratoire :

- Température : 21,3 °C (+/- 0,1)
- Taux d'humidité : 29,1 % (+/- 0,1)
- Absence de courant d'air

4.2.2. Matériel

- 1 Fuite étalon propriété de TECNEA Italia.
 - o Type : FET-115
 - o Gaz : R-134a

- o N° de série : 016769
- 2 détecteurs de fuites propriété du Cemafruid – D-TEK Select.
 - o EQT-FRE-169
 - o LG 11-030
- Un mètre

Remarque : La fuite étalon utilisée a été étalonnée à 5 g/an uniquement. Les résultats sont basés sur la documentation fournisseur et sont donc donnés à titre indicatif.

4.2.3. Schéma du dispositif

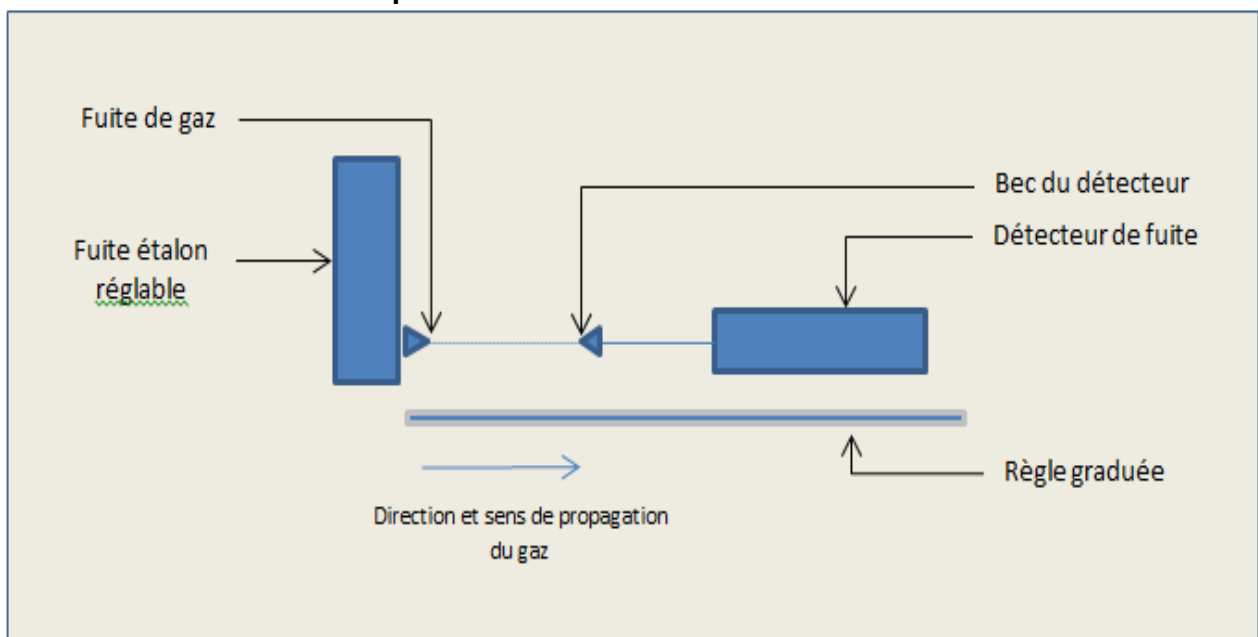


FIGURE 10. SCHEMA DU DISPOSITIF D'ESSAI

4.2.4. Protocole

- Détermination du temps de réaction du détecteur
 - Mettre en route le détecteur de fuite et attendre la fin de sa configuration ;
 - Imposer un flux déterminé de gaz à l'aide de la fuite étalon ;
 - Positionner le détecteur face à la fuite (à une distance inférieure à 1 cm) ;
 - Mesurer le temps de réponse.

- Détermination de l'influence de la distance détecteur/fuite sur la détection du gaz.
 - Mettre en route le détecteur de fuite et attendre la fin de sa configuration ;
 - Imposer un flux déterminé de gaz à l'aide de la fuite étalon ;
 - Placer le détecteur de fuite à 10 cm de la fuite étalon et le rapprocher jusqu'à la détection du gaz ;
 - Noter alors la distance : détecteur de fuite/fuite étalon.

4.2.5. Résultat des mesures

TABLEAU 8. DETERMINATION DU TEMPS DE REACTION DU DETECTEUR

Débit de fuite (g/an)	Temps de réponse	
	EQT-FRE-169	LG 11-030
4,5	Immédiat	immédiat
7,9	Immédiat	Immédiat
13,7	Immédiat	Immédiat

TABLEAU 9. DETERMINATION DE L'INFLUENCE DE LA DISTANCE DETECTEUR/FUITE ETALON SUR LA DETECTION DU GAZ

Débit de fuite (g/an)	Distance minimale de détection (mm)	
	EQT-FRE-169	LG 11-030
2,6	0	0
4,5	2	0
5,8	4	4
7,9	9	7
10,3	12	13
13,7	13	13

4.2.6. Exploitation

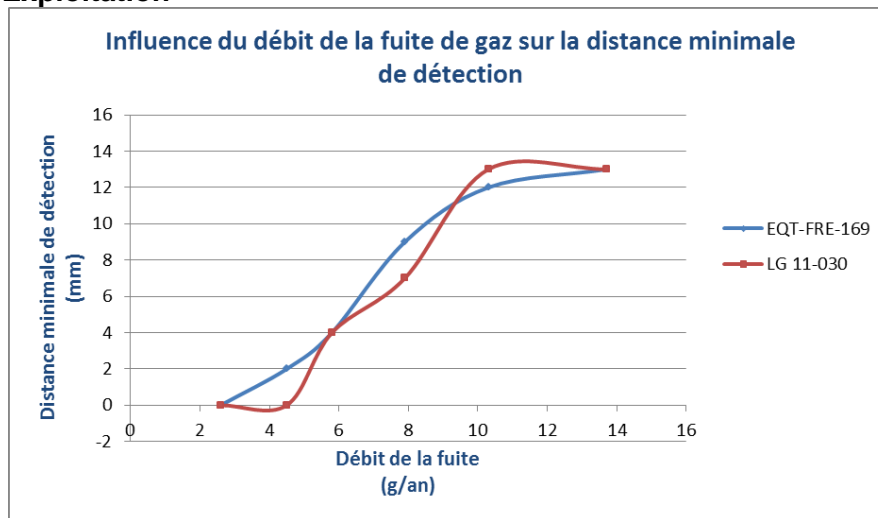


FIGURE 11. INFLUENCE DU DEBIT DE LA FUITE DE GAZ SUR LA DISTANCE MINIMALE DE DETECTION

Ce qu'il faut retenir

La vitesse de déplacement d'un détecteur a une influence mineure sur le niveau de détection pour peu que l'opérateur reste dans des conditions standards d'utilisation (le détecteur de fuite doit être au contact du système à vérifier).

Le débit minimal détecté varie en fonction de l'utilisation faite par l'opérateur. Ainsi un détecteur de fuite étalonné à 5g/an est en mesure de :

- détecter des fuites à un débit inférieur à 5g/an ;
- ne pas détecter une fuite de 5g/an s'il se trouve trop éloigné de la source.

Il semble important de stipuler sur les certificats de vérification des détecteurs de fuite la distance idéale d'utilisation de l'instrument afin de détecter les fuites effectivement à 5g/an et plus.

4.3. Analyse des seuils de détection préconisés

4.3.1. Bilan sur les méthodes de détection actuelles

La grande majorité des contrôles d'étanchéité est réalisée à l'aide d'un détecteur électronique de fuite dont le seuil de détection est de l'ordre de 5 g/an. Ce seuil est défini dans l'arrêté du 7 mai 2007 relatif au contrôle d'étanchéité des éléments assurant le confinement des fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques. Il est également indiqué dans le règlement européen 1516-2007 CE qui précise le règlement F-Gaz 842-2006 CE pour le confinement.

Un article [27] a attiré notre attention sur l'intérêt du seuil de sensibilité des appareils de mesure de fuite.

Ce document présente des méthodes de mesures quantitatives de fuite, en laboratoire et sur site industriel. Différents organes ont été analysés en laboratoire, et 3600 points de mesure répartis sur 15 sites ont été effectués.

Les mesures sur site ont été effectuées avec un équipement permettant d'estimer le niveau des fuites (spectromètre de masse multi-gaz renifleur). Les installations auditées sont celles ayant des composants (brides, vannes, raccords, etc.) susceptibles de générer une fuite. Les sites choisis sont des installations de

grande puissance utilisant des fluides frigorigènes fluorés (agroalimentaire, transports frigorifiques, industriel, climatisation, entreposage, patinoire, ...).

Les résultats de cet audit sont donnés sous forme de graphiques et présentent les classes de fuite (en g/an), en fonction de leur fréquence d'apparition.

Aucune donnée n'est indiquée concernant le nombre de points de fuite (total) par installation.

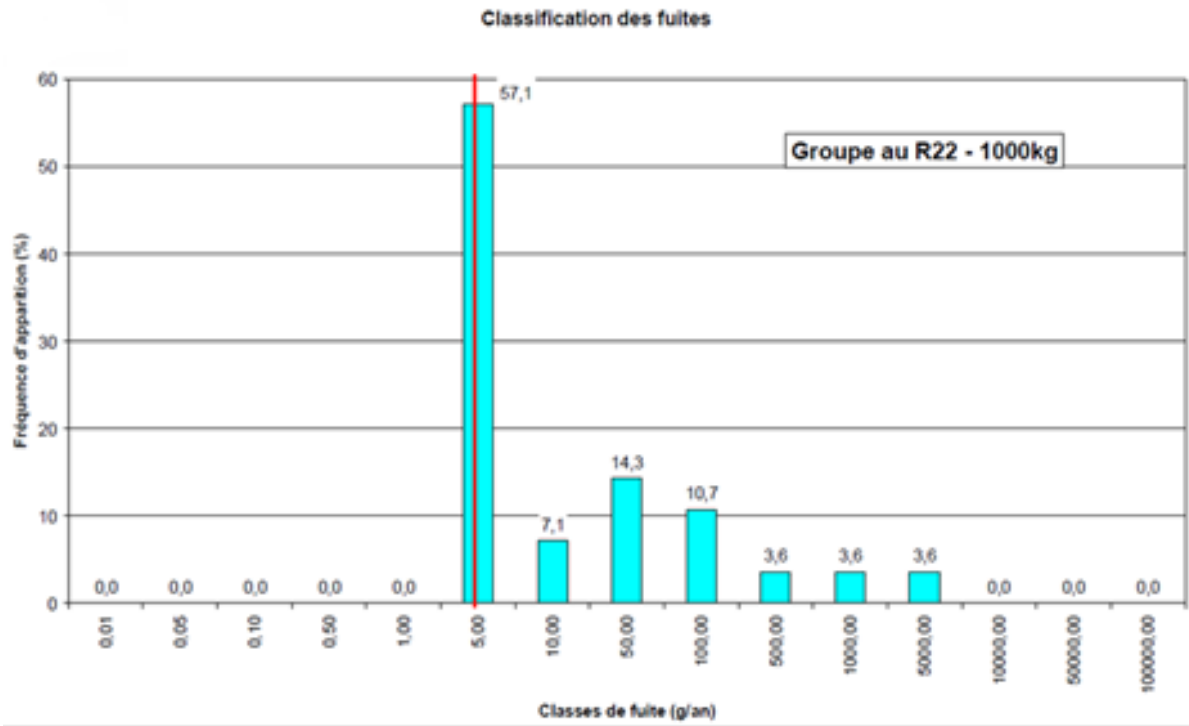


FIGURE 12 : FREQUENCE D'APPARITION DES FUITES EN FONCTION DE LEUR CLASSE (G/AN) ENTREPOT (R22) EXTRAIT REFERENCE [27]

En partant des données issues de l'article, nous avons pu constituer le tableau suivant sur la contribution d'une classe de fuite sur la perte totale en fluide frigorigène.

Fréquences d'apparition (Fr en %)	Classe de la fuite en (Cl en g/an)	Contribution de la classe sur la perte totale (C _c en %/ an)	Masse potentiel de fuite m _p (kg/an) Pour N = 100
0%	0,5	0,0000%	0,00
0%	1	0,0000%	0,00
57%	5	1,12%	0,29
7%	10	0,28%	0,07
14%	50	2,80%	0,72
11%	100	4,19%	1,07
4%	500	7,05%	1,8
4%	1000	14,09%	3,6
4%	5000	70,47%	18
0%	10000	0,00%	0,00
0%	50000	0,00%	0,00

Masse total **mtot** = 26 kg/an

TABLEAU 10: CALCUL DE LA CONTRIBUTION D'UNE CLASSE SUR LA PERTE TOTALE, ET CALCUL DE LA MASSE POTENTIELLEMENT PERDUE PAR AN POUR NOMBRE DE FUITE EGALE A 100

On constate d'après ce tableau que les fuites dont l'apparition est la plus fréquente (57 % des fuites de classes 5g/an) ne représentent qu'une très faible contribution relative de 1,12 % sur la masse totale de fuite (fluide potentiellement perdu). Ceci pose la question de la pertinence d'un seuil de détection de 5 g/an pour la recherche de fuite. A contrario, on constate que 91,6 % de la masse de fluide perdu est due aux classes supérieures à 500 g / an.

Du point de vue de l'opérateur, lorsqu'il intervient pour une détection de fuite, il a donc de grandes chances de détecter un nombre important de fuites qui auront un impact négligeable. Au final, il est également envisageable que l'opérateur arrête son analyse avant même d'avoir détecté les fuites significatives, en particulier sur les installations peu pratiques d'accès. Il est donc important de réaliser une recherche exhaustive de fuite en utilisant plusieurs moyens de détection. Pour qualifier les fuites importantes supérieures à 50g/an, la bulle de savon peut s'avérer préférable.

4.3.2. Bilan CO₂ d'une réparation de fuite de 5 g/an

En complément de cette analyse en première approche, il est intéressant d'intégrer l'impact environnemental (en termes de bilan carbone par exemple) d'une intervention sur une fuite à 5 g/an.

Prenons le cas d'une intervention sur une soupape qui émet 5g/an de fluide frigorigène, placée sur un réservoir liquide de 100 litres d'une installation de 70 KW froid à T₀= -30°C ; TK = 35°C.

Ne sont pas pris en compte:

- ce qu'il reste dans le flexible ;
- les éventuelles erreurs de manipulation ;
- le fluide présent dans l'huile (peut représenter 10% et plus de la masse d'huile).

Si l'on considère une fuite d'un taux T_x=5g/an pendant N=15 ans pour une installation contenant du R404A (GWP : 3900), cela représente : N x T_x x GWP= 292 kg_{eq} CO₂.

Prenons maintenant le cas où cette fuite de 5 g/an va être réparée. On va tout d'abord chercher à récupérer le fluide de l'installation avant de réparer l'organe responsable de la fuite.

Si l'on considère que pour cette opération, le groupe de récupération s'arrête lorsque la pression relative est de 0,2 bar, le volume de l'installation étant de $V=100$ litres à une température de 20°C , la masse volumique $V''= 0,31 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Il en résulte une masse de fluide résiduelle dans l'installation $m=V/V''=326\text{g}$.

Cette masse résiduelle s'échappera fatalement dans l'atmosphère lors de l'intervention et aura donc un impact égal à $1262 \text{ kg}_{\text{eq}} \text{ CO}_2$.

Ce calcul permet de démontrer que réparer une seule fuite de 5 g/an peut être beaucoup plus nocif pour l'environnement que de la laisser en l'état pendant 15 ans.

Ce bilan montre tout l'intérêt des vannes d'isolement qui permettent de ne pas vider l'ensemble de l'installation pour intervenir et d'isoler une partie du circuit à réparer.

Lorsqu'il n'y a pas de vanne d'isolement, il faut éviter de vider l'installation trop souvent pour réparer une fuite de faible débit ou bien attendre de réaliser une opération de maintenance préventive pour réaliser la réparation.

Ce qu'il faut retenir

Les auteurs du présent rapport attirent l'attention des lecteurs sur la pertinence technique du niveau actuel du seuil de détection. Pour être efficace lors des contrôles d'étanchéité il faudrait pouvoir se concentrer principalement sur les fuites importantes supérieures à 50 ou 100 g/an. Un détecteur ayant plusieurs seuils de détection pourrait constituer une réelle avancée dans le domaine.

La recherche de fuite doit être réalisée de manière exhaustive sur l'ensemble de l'installation.

5. Résultat de l'enquête en ligne

5.1. Introduction

L'enquête en ligne a été adressée à plus de 500 installateurs/mainteneurs d'installations frigorifiques disposant d'une attestation de capacité en France. Une quarantaine de questionnaires complétés nous a été renvoyée ce qui correspond à un taux de réponse de 8 %. Ce taux est conforme aux résultats d'une étude similaire menée au Royaume-Uni (Cf. Fiche n°7). Ce taux de participation relativement faible peut s'expliquer par le fait que le confinement des installations reste un sujet sensible, aussi bien pour les frigoristes que pour les détenteurs d'installation bien que les auteurs de l'étude aient prévu des accords de stricte confidentialité des données fournies. Par ailleurs, les professionnels contactés ont fait état d'un manque de ressource pour compléter l'enquête.

Les résultats de l'enquête en termes de taux de fuite sont en ligne avec la littérature sur le sujet. Il a été très difficile de rédiger des conclusions sur les taux de fuites hors accidentologie, car les recharges de fluide, consignées dans les fiches d'intervention, concernent essentiellement des pannes sévères ayant entraîné des fuites très importantes.

5.2. Nature des installations

Parmi les 40 questionnaires renvoyés, 40 % concernait des systèmes de climatisation et réseau de froid urbain, 25 % des entrepôts frigorifiques, 20 % des installations de GMS, 10 % des IAA et 5 % des groupes frigorifiques pour le transport.

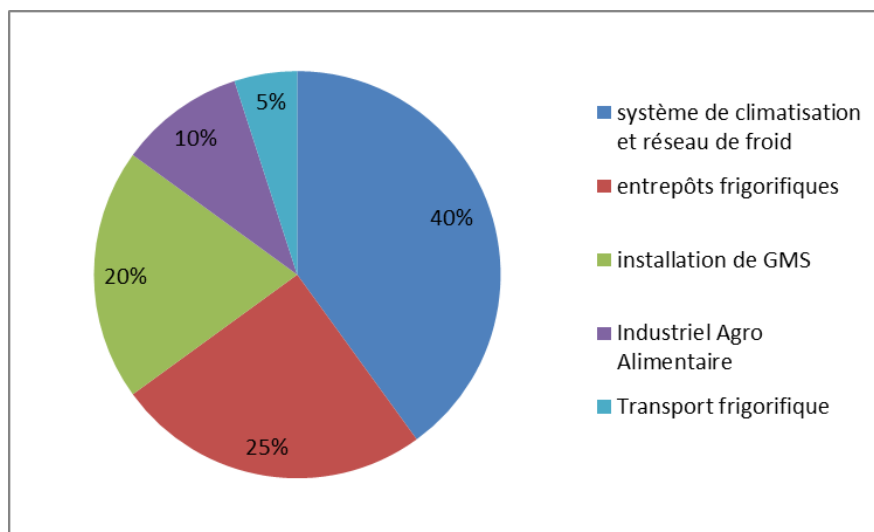


FIGURE 13. NATURE DES INSTALLATIONS ANALYSEES DANS LE PANEL

La plupart du temps les questionnaires étaient accompagnés des fiches d'intervention sur site. Il a été observé une grande disparité dans la qualité du renseignement de ces fiches. On ne retrouve pas toujours la charge en frigorigène sur la fiche d'intervention. D'une intervention à l'autre, la mention de la charge peut varier de 50 %.

5.3. Recueil des données

5.3.1. Climatisation

Les raccords de prise de pression sont très souvent incriminés, toute comme les garnitures d'étanchéité des compresseurs.

5.3.2. Entrepôts frigorifiques

Les raccords de prise pression reviennent régulièrement dans les réponses à l'enquête.

5.3.3. Froid commercial

Dans le froid commercial, les principales causes de fuites concernent les terminaux (évaporateurs de chambres froide, évaporateurs de meubles frigorifiques de vente, équipements connectés aux boucles positives et négatives). Sur la boucle positive, les évaporateurs (en cuivre) des chambres de pouce (chambre de stockage des pâtons pour produits de boulangerie) sont souvent poreux. Sur la boucle négative, les machines à glaces, (pour étal de produit de la mer) sont souvent accusées.

5.3.4. Industrie agroalimentaire

Dans les quelques questionnaires sur les industries agro-alimentaires, les grosses fuites concernent les raccords de prise de pression, la ligne de départ de liquide, les évaporateurs des chambres froides à froid ventilé, et tube de refoulement fendu.

5.3.5. Transport frigorifique

Pour le transport frigorifique, les occurrences et les origines des fuites dépendent fortement de la technologie employée. Les groupes poulie-moteur sont beaucoup plus fuyards que les groupes autonomes. Cela s'explique par des sollicitations mécaniques bien plus importantes.

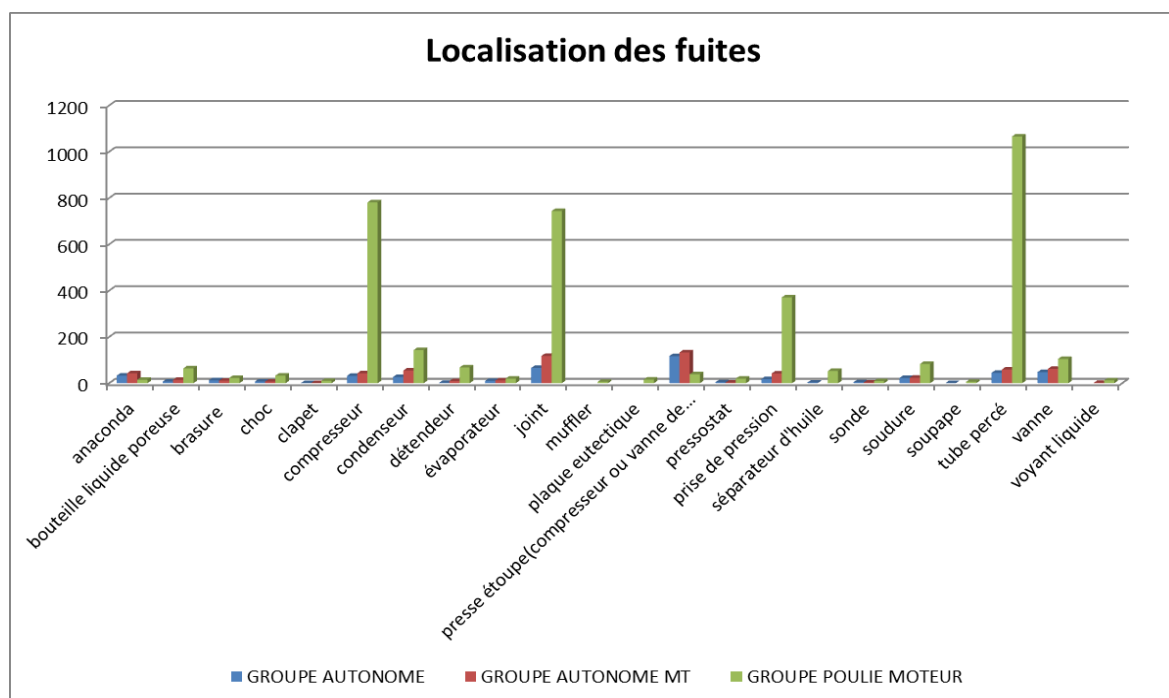


FIGURE 14. LOCALISATION DES FUITES POUR LES GROUPES FRIGORIFIQUES DE TRANSPORT

Pour les groupes poulie moteur, 70 % des fuites constatées sont localisées sur des tubulures, au niveau du compresseur, des prises de pression ou sur des joints. Dans une moindre mesure, on retrouve des fuites au niveau des vannes, du condenseur, du détendeur ou des récipients de liquide.

Pour les groupes autonomes, qu'ils soient mono-température ou multi-température, les fuites sont localisées à 50 % au niveau des presse-étoupes (compresseurs ou vannes de service), des joints et des absorbeurs de vibration. Les brasures ou soudures ne sont incriminées que dans 5 % des cas.

Ce qu'il faut retenir

Dans le cadre de l'étude, une enquête en ligne a été adressée à plus de 500 installateurs/mainteneurs d'installations frigorifiques en France, disposant d'une attestation de capacité. Le taux de réponse a été de 8 % ce qui est un résultat satisfaisant compte tenu des taux de réponse pour des études antérieures. Globalement, on retrouve les mêmes causes de fuites que celles issues de la littérature avec des différences marquées selon le domaine d'activité et la technologie employée.

La qualité des fiches d'intervention et de contrôle d'étanchéité est très aléatoire. Il semblerait pertinent d'élaborer une procédure ou méthode de détection des fuites utilisant plusieurs types de système de détection et un certain nombre de point de contrôle obligatoire.

Par ailleurs, étant donné la diversité des applications et systèmes frigorifiques, cette méthode de détection devrait se décliner en fonction de la typologie d'installations.

6. Expertise sur site d'équipements ou installation

6.1. Introduction

Les visites ont été menées par les experts du Cemafroid et les installations visitées l'ont été sur les bases des questionnaires préalablement remplis. Une vingtaine de visites ont été menées dans tous les domaines du froid :

- Réseau urbain de climatisation, système de climatisation de forte puissance ;
- Entrepôts frigorifiques ;
- Installations frigorifiques en GMS ;
- Industrie Agroalimentaire.

Au cours de ces visites, la documentation technique de l'installation a été consultée ainsi que les fiches d'interventions. Quand cela était possible, les experts ont pu consulter le contrat de maintenance pour vérifier la fréquence et les points contrôles périodiques effectués.

Les experts ont analysés les installations en répondant à la grille d'analyse fournie en Annexe 2. Les fiches complétées sont données en Annexe 4.

6.1.1. Réseau de froid /Système de climatisation de forte puissance

D'une manière générale, les installations visitées (Fiches n°1, 4, 6 et 18 de l'annexe 4) sont très bien entretenues. Pour les plus fortes puissances, les opérations de maintenance, y compris des recherches de fuites étaient réalisées en interne avec une périodicité allant bien au-delà des obligations réglementaires. Pour ce type d'installation la méthode de recherche de fuite est peu adaptée et pourrait être revue. Même si les opérations de récupération de fluide avant intervention sont très bien réalisées dans un certain nombre de cas, il subsiste parfois une charge importante de fluide dissout dans l'huile. Les fiches d'intervention pourraient être mieux renseignées.

6.1.2. Entrepôt

Les installations visitées (Fiches n°3, 9, 10, 11 et 14 de l'annexe 4) étaient relativement récentes pour la plupart d'entre elles avec un recours massif aux flexibles qui accentue les risques de fuite s'ils ne sont pas changés périodiquement. Malgré un niveau de satisfaction important du client et un contrat d'entretien prévoyant de nombreux contrôles et une maintenance préventive, une installation au R404A était dans un état de vétusté avancée (bouchon manquant, corrosion avancée et présence de boue au droit des compresseurs).

6.1.3. Froid commercial, grande et moyenne surface de vente (GMS)

Les installations visitées (Fiches n°5, 8, 12, 13, 16 et 17 de l'annexe 4) ont pour point commun un recours massif aux flexibles ce qui accentue les risques de fuite s'ils ne sont pas changés périodiquement. Par ailleurs, les installations se caractérisent quasi systématiquement par un nombre de vanne Schraeder très important et des bouchons manquants.

6.1.4. Industrie Agroalimentaire

Les installations visitées (Fiches n°2, 7, 15 de l'annexe 4) sont toutes relativement anciennes avec des composants très corrodés. Les installations sont en général bien maintenues.

6.2. Retour d'expérience

D'une manière générale, il existe de grandes différences d'approche en matière de contrat de maintenance. Si la plupart des entrepôts frigorifiques ainsi que les installations de froid urbain visités entretenait particulièrement bien leur installation, les contrats de maintenance pour les systèmes de climatisation, les installations en GMS ne comprenaient pas ou peu de maintenance préventive ou remplacement sur usure de pièce.

Dans tous les domaines, les experts ont fait des remarques sur la qualité des renseignements fournis dans les fiches d'intervention. Les causes de fuites ne sont pas toujours explicitées. Certaines fuites constatées ne font pas l'objet d'une réparation avant recharge.

Le matériel utilisé pour la recherche de fuite n'est pas explicité : Marque, référence, date de dernière vérification.

Recherche Fuite	Mise en Service	Clr Périodique	SAV/Maintenance	Modification	Démontage	Contrôle après Réparation
<p>Dans le cas d'intervention sur le circuit frigorifique pour ajouter ou récupérer du fluide frigorifique, ou dans le cas de contrôle d'étanchéité, ce document doit être conservé 5 ans pour être présenté à toute réquisition de l'autorité compétente (décret du 07/12/1992 - modifié le 30/06/1998)</p> <p>Suivant Réglementation (arrêté 737/2007), fréquence des contrôles d'étanchéité : De 2 à 30 kg contrôle annuel / De 30 à 300 kg semestriel / + 300 kg trimestriel</p> <p>Obligations de déclarations en préfecture par l'exploitant : Equipement de +de 300 kg - fuite supérieure à 20 kg ou supérieures à 100 kg/an</p> <p><input type="checkbox"/> Lors de l'intervention ayant nécessité l'ouverture du circuit, une dégradation des parties internes visuelles a été constatée par la personne habilitée par l'exploitant sur site</p>						
<p>Nature du fluide contenu dans le circuit / Quantité</p>			<p>Nature du fluide Récupéré</p>			
<p>Date du dernier contrôle d'étanchéité</p>			<p>Fluide Rajouté kg</p>			
<p>Quantité de fluide ajoutée depuis le dernier contrôle kg</p>			<p>Fluide Récupéré kg</p>			
<p>Date de première mise en Service</p>			<p>DESTINATION</p>			
<p><input type="checkbox"/> Contrôle d'étanchéité du circuit frigorifique</p>			<p>Réintroduit kg</p>			
<p><input type="checkbox"/> Aucune fuite détectée</p>			<p>Destruction kg</p>			
<p><input type="checkbox"/> Fuite (s) réparée(s)</p>			<p>Retraitement kg</p>			
<p><input type="checkbox"/> Fuite (s) nécessitant une nouvelle intervention pour réparation (sous 14 jours)</p>			<p>Nature du fluide si changement</p>			
<p>Répérage de la fuite :</p>			<p>Détecteur Utilisé Type électronique précision mini 5g/an / Référence N° et date certifiçal</p>			
<p>Travaux réalisés <i>après température stable dans machine pour son groupe. Compteur fait [] interven</i></p>						
Quantités	Désignation(s) Fourniture(s)			Référence	Prix Hors Taxes	
<i>0,5</i>	<i>kg R404A</i>					

FIGURE 15. EXEMPLE DE FICHE D'INTERVENTION MAL RENSEIGNEE (RECHARGE DU CIRCUIT EN R404A SANS REPARATION PREALABLE).

Concernant les installations frigorifiques, le nombre de raccords pour prise de pression est parfois bien trop important ce qui augmente les risques de fuites.

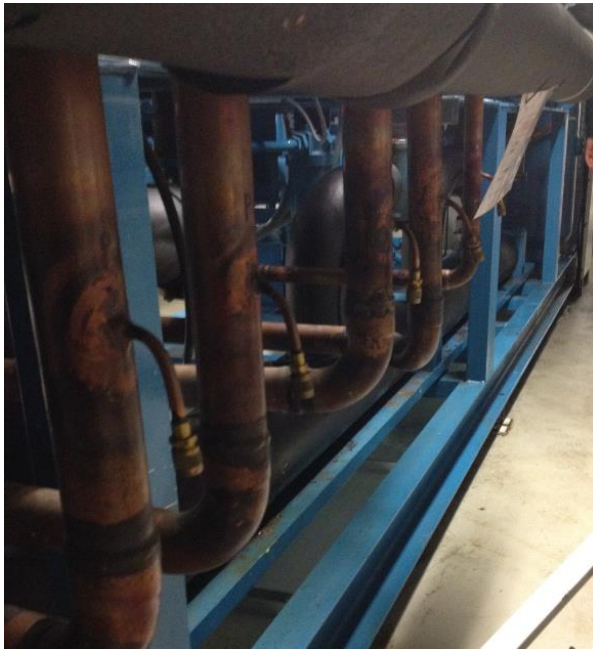


FIGURE 16 : EXEMPLE DE CENTRALE DE COMPRESSION COMPRENANT DE NOMBREUSES PRISES DE PRESSION

Certaines installations, localisées à l'extérieur étaient particulièrement corrodées. Notamment au niveau des bouteilles d'aspiration ou des raccords de pressostat par exemple.

La majeure partie des installations visitées n'était pas conforme en regard du suivi en service des équipements sous pression (arrêté du 15 mars 2000 modifié et CTP du 7 juillet 2014).



FIGURE 17. EXEMPLE DE CORROSION AVANCEE SUR UN RESERVOIR D'ASPIRATION SITUÉ EN EXTERIEUR



FIGURE 18. EXEMPLE DE FLASQUE COMPRESSEUR TRES CORRODEE



FIGURE 19. PRESENCE D'HUILE SUR LE SOL



FIGURE 20. PRESSOSTAT SANS BOITE DE PROTECTION, SOUFFLET DE PRESSOSTAT EN MAUVAIS ETAT

Certaines installations comportaient des plots anti vibratiles sous la centrale mais le circuit n'était pas pourvu de suspenste anti-vibratile ou d'absorbeur de vibration.

Pour certaines installations récentes, les soudures étaient mal réalisées avec une présence trop importante de flexibles, qui, lorsqu'ils ne sont pas changés régulièrement, augmente le risque de fuite :



FIGURE 21. EXEMPLE DE SOUDURE MAL REALISEE



FIGURE 22. PRESENCE SYSTEMATIQUES DE FLEXIBLE

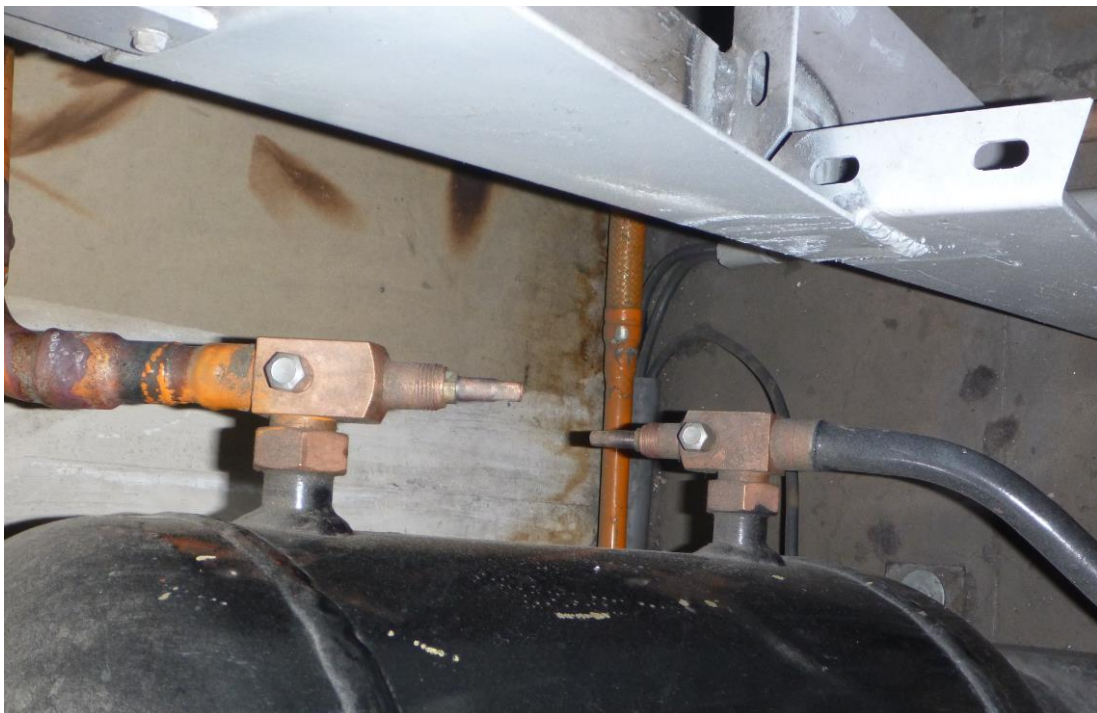


FIGURE 23. ABSENCE DE BOUCHON SUR VANNE

Les experts ont également pu observer d'excellentes pratiques dans de grosses installations de froid urbain notamment en calfeutrant les organes susceptibles de fuir pour mieux détecter des fuites éventuelles.

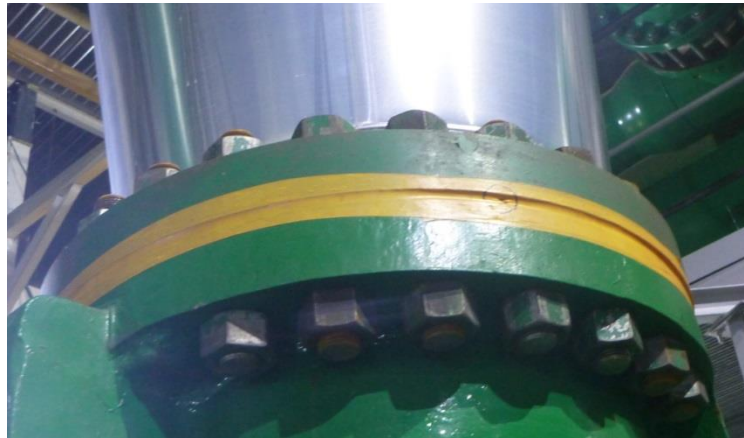


FIGURE 24 EXEMPLE DE CALFEUTRAGE DE BRIDE POUR UNE DETECTION DE FUITE PLUS EFFICACE

Les soupapes de sécurité étaient raccordées à une cuve de stockage couplée à une station de transfert conçue en interne. Cet équipement n'était pas conforme à la norme EN 35421 mais il était pourtant beaucoup plus efficace qu'une station conforme. La station était équipée d'un système de pompe à vide permettant de récupérer les vapeurs résiduelles dans l'installation dans une cuve de stockage.

Pour certaines installations de forte puissance, les fiches d'intervention étaient bien remplies et notamment les recherches de fuite faisaient références à du matériel de recherche de fuite étalonné :



FIGURE 25. EXEMPLE DE CERTIFICAT D'ETALONNAGE

Ce qu'il faut retenir

Dans le cadre de l'étude, une vingtaine de visites sur site ont été menées sur des installations dans tous les domaines du froid. Il existe de grande disparité en termes de maintenance selon le domaine considéré. Quel que soit le domaine, les experts ont fait des remarques sur la qualité des renseignements fournis dans les fiches d'intervention. Les causes de fuites ne sont pas toujours explicitées. Certaines fuites constatées ne font pas l'objet d'une réparation avant recharge, ce qui est formellement interdit.

La majeure partie des installations visitées n'était pas conforme en regard du suivi en service des équipements sous pression, avec une corrosion avancée. Les installations conformes, subissant des contrôles périodiques étaient beaucoup mieux entretenues.

7. Préconisations

Les préconisations en termes de confinement visent à sensibiliser :

- Les bureaux d'étude concepteur de l'installation ;
- Les installateurs ;
- Les exploitants ;
- Les mainteneurs ;
- Les pouvoirs publics.

Les auteurs présentent également les préconisations sous la forme de fiches sectorielles fournies en annexe 5

7.1. Bureaux d'étude

Les bureaux d'étude ont un rôle très important car le choix des équipements, de l'aménagement de l'installation et auront un impact fort sur le bon confinement de l'installation tout au long de sa durée de vie.

7.1.1. Charge en fluide

Les concepteurs devraient, autant que faire se peut, limiter la charge en frigorigène. Les systèmes à détente directe doivent être limités à certains types d'équipements, en fonction du segment d'application, pour lesquels il n'existe aucune autre alternative (Système DRV, Multisplit par exemple dans le domaine de la climatisation). Il est préférable d'opter pour un système avec frigoporteur pour limiter la charge. L'utilisation d'échangeurs à micro-canaux, très répandus dans le domaine automobile permet de réduire la charge de façon importante (jusqu'à 75 % de la charge selon certains fabricants).

7.1.2. Accessibilité des réseaux et équipement

Il serait souhaitable que les concepteurs facilitent les travaux de maintenance en rendant accessible l'ensemble de l'installation y compris les réseaux de distribution. Dans le domaine du froid commercial, les tranchées et réseaux enterrés sont à proscrire.

7.1.3. Vibrations

Les vibrations sont une source importante de fatigue sur les réseaux de tuyauteries et sont à l'origine de nombreuses fuites. Les concepteurs et bureaux d'études doivent préconiser des solutions pour les limiter: absorbeurs de vibration, suspente et plots anti-vibratiles, et se référer systématiquement aux préconisations de la NF EN 378.

7.1.4. Raccords/vannes

Comme cela a été vu à plusieurs reprises dans le présent rapport, il est important de limiter le nombre de raccords soudés ou brasés et proscrire l'utilisation de raccord Shraeder. Toutes les vannes doivent être munies d'un capuchon.

Pour faciliter la maintenance, il est conseillé d'installer des vannes d'isolement de circuit et des by-pass sur pièce d'usure ou matériel remplacé fréquemment.

7.1.5. Dimensionnement des réservoirs

Il est important de bien dimensionner les réservoirs pour pouvoir recueillir l'ensemble de la charge du circuit tout en limitant la masse de fluide frigorigène de l'installation.

7.2. Installation

7.2.1. Le personnel

Le personnel de montage doit être qualifié et les soudeurs habilités ce qui implique à minima de détenir une attestation d'aptitude.

La formation continue du frigoriste est un point clé car il doit acquérir des compétences additionnelles notamment sur les technologies à fluide naturel, ou à risques (équipement de catégorie 1 à 4 selon la DESP).

7.2.2. Opérations sensibles

Un certain nombre d'opérations permettent d'éviter les risques de fuites et devraient être prises en compte par l'installateur au moment du montage :

- Protéger avec un chiffon humide l'organe brasé, afin d'éviter de détériorer le joint ;
- Serrer au couple préconisé par le fabricant ;
- Pour les dudgeons, utiliser une dudgeonnière excentrique ;
- Serrer les brides en appliquant le principe de serrage en croix en 3 passes graduelles jusqu'au couple indiqué ;
- S'assurer que le pressostat est bien fixé et supporté.

Lors de la mise en service, l'installateur est amené à :

- Réaliser un test d'étanchéité sur l'ensemble de l'installation. Tous les raccords doivent être contrôlés en utilisant un spray ou un détecteur ultra-sons ;
- Expliquer le rôle de la maintenance. L'opérateur devrait ainsi avoir une démarche de conseil envers le détenteur sur ses responsabilités.

7.2.3. Matériel de détection

Il est impératif d'installer des détecteurs de fuite en salle des machines. Pour placer au mieux les sondes des détecteurs d'ambiance, il est recommandé de :

- Réaliser un diagnostic général de l'état de l'installation en termes de fuites ;
- Recenser les éléments les plus sensibles (exemples : vannes et valve de charge, etc.) ;
- Placer les sondes au plus proche de ces éléments ;
- Apporter un soin particulier à la hauteur à laquelle la sonde doit être située en fonction du type de gaz qu'elle va être amenée à détecter (fluide plus lourd ou léger que l'air).

Utiliser si possible la détection de fuite indirecte avec report d'alarme.

7.3. Exploitation (détendeur d'équipement)

Les remarques suivantes sont destinées aux détenteurs d'équipements frigorifiques. Rappelons que la F-Gaz place le détenteur comme responsable du bon confinement de son installation frigorifique. Les exploitants sont tenus d'entretenir correctement leur installation. D'une manière générale, peu d'exploitants sont familiers avec leur installation frigorifique et ils se reposent trop souvent sur leur prestataire de maintenance. Il semble important que l'exploitant puisse, au même titre qu'il suit ses consommations d'énergie, suivre son taux de fuite.

7.3.1. Conception de l'installation

L'exploitant devrait accepter les aménagements et schéma de conception proposés par le Bureau d'étude visant à limiter les fuites et à en faciliter la détection et la réparation (Cf. paragraphe Bureau d'étude).

7.3.2. Respect de la réglementation en vigueur

L'exploitant doit respecter le code de l'environnement en mettant correctement à jour le registre d'intervention, en procédant au contrôle visuel de l'installation. Il doit également respecter l'arrêté du 15 mars 2000 modifié relatif à l'exploitation d'équipement sous pression et mettre en œuvre le Cahier Technique Professionnel pour le suivi en service des systèmes frigorifiques sous pression du 7 juillet 2014². En effet, il y a encore un certain nombre d'installations qui ne sont pas conformes au regard de la directive sur les équipements sous pression. Les dossiers techniques sont incomplets, la visite initiale et les contrôles périodiques n'ont pas été effectués.

7.3.3. Maintenance

L'exploitant de l'installation aurait tout intérêt à privilégier les contrats de service « longue durée » pour permettre de rentabiliser sur la durée les actions menées dans la réduction des fuites et assurer une conduite de l'installation intelligente. Le mainteneur connaîtra mieux son installation, maîtrisera davantage ses interventions et sera plus enclin à améliorer le confinement d'une installation, s'il a la certitude que son contrat est pérenne.

Il est également dans l'intérêt de l'exploitant d'entretenir correctement son installation en respectant les notices d'utilisation des fabricants et en acceptant les réparations et aménagements proposés par son mainteneur si nécessaires. Ces travaux de réparation ne doivent pas être réalisés dans la précipitation, sans avoir effectué de contrôle d'étanchéité après travaux.

Lors des contrôles d'étanchéité obligatoires, il est de la responsabilité de l'exploitant de laisser libre accès à l'ensemble de l'installation et de laisser le temps nécessaire au mainteneur pour qu'il puisse réaliser la recherche de manière efficace et exhaustive.

7.4. Maintenance (responsable de maintenance)

7.4.1. Respect de la réglementation en vigueur

Le mainteneur doit respecter le code de l'environnement en mettant correctement à jour le registre d'intervention, les fiches de déclaration, en procédant au contrôle visuel de l'installation. Il doit également respecter l'arrêté du 15 mars 2000 (modifié le 31 janvier 2011) relatif à l'exploitation d'équipements sous pression.

7.4.2. Surveillance de l'installation

Il est important de réaliser une maintenance préventive et un contrôle des performances et de remettre un compte-rendu au détenteur de l'équipement ; Etre vigilant dans la surveillance de l'installation (vibrations, bouchons (et joints) mal serrés ou manquants...) et dans la réalisation des contrôles (ante et post fuite).

Lors des opérations de maintenance, il faut veiller à remettre en place les capuchons après intervention.

² Le CTP unique est téléchargeable en libre accès sur le site de l'USNEF : http://www.usnef.fr/Parution-au-BO-Ecologie-CTP-Frigorifique-du-07-juillet-2014_a472.html

Savoir déceler, réaliser ou proposer les opérations de maintenance préventives sur les pièces sensibles et corriger au plus vite tout point de corrosion est un élément essentiel.

Les fuites sur raccords apparaissent souvent après une opération de maintenance, il est donc crucial de bien faire le test d'étanchéité au détecteur électronique avant de quitter l'installation.

7.4.3. Etablir une relation de confiance avec l'exploitant

Etablir une relation de confiance, c'est avant tout construire une relation saine de type gagnant-gagnant. Le mainteneur devrait proposer systématiquement à son client une revue de contrat annuelle pendant laquelle, un point est fait sur :

- les différentes interventions réalisées ;
- les visites contractuelles effectuées ;
- les devis réalisés ;
- les devis en attente de validation par l'exploitant ;
- les consommations de fluide ;
- les interventions 24h/24 ;
- les attentes et enjeux de l'exploitant pour les prochains mois ;
- les éventuels soucis d'utilisation ;
- Les consommations énergétiques ;
- La veille réglementaire.

Cette revue de contrat est l'occasion d'évaluer le taux de fuite de l'installation, de valider avec le client des solutions qui permettraient de le faire diminuer.

7.4.4. Contrôle d'étanchéité

Pour réaliser un contrôle d'étanchéité de qualité, le mainteneur devrait respecter un certain nombre de règles :

- Se donner suffisamment de temps pour effectuer le contrôle et le prévoir dans les contrats ;
- Tester son détecteur électronique avec une fuite calibrée avant tout contrôle ;
- Rechercher de façon méthodique les fuites comme le préconise la F-Gaz ;
- Tous les raccords doivent être contrôlés en utilisant un spray ou un détecteur ultra-sons ;
- Contrôler toujours l'étanchéité à l'intérieur du pressostat, en prenant garde aux chocs électriques ;
- Contrôler l'étanchéité des crosses avec précaution, surtout si l'ambiance est agressive ;
- Toujours contrôler les soupapes et bouchons fusibles ;
- Dès qu'une trace d'huile apparaît un contrôle de fuite doit être effectué ;
- En cas de fuite avérée, la réparer dès que possible ; l'installation doit être révérifiée au point de réparation dans le mois ;
- Tester l'installation par du personnel qualifié. La pression de test d'étanchéité doit être maintenue au moins 24 heures, pour une mise en service, et 1 heure lors du remplacement d'une pièce (petite partie d'un circuit) ;
- Utiliser un gaz traceur (hélium ou hydrogène) avec le bon détecteur associé (le détecteur HCFC/HFC ne fonctionne pas pour ce type gaz) en tenant compte les préconisations et recommandations des fabricants de composant (compresseurs) ;
- Nettoyer les traces de produit fluorescent utilisé pour la détection des fuites ;
- Garder à l'esprit que la première fuite trouvée n'est pas forcément la dernière.

7.5. Pouvoir public

Les remarques suivantes sont destinées aux ministères, associations, établissements publics, commissions européennes.

7.5.1. S'appuyer sur les études réalisées

Il existe un certain nombre d'études qui traitent du sujet du confinement. En complément du présent rapport, les pouvoirs publics doivent s'appuyer sur les études réalisées par ADEME, AFCE, Armines, Cetim, Cemafruid, IRSTEA, Perifem, UNICLIMA.

Ces différentes études font état des différences significatives en matière de confinement selon les technologies employées, le domaine d'activité.

La présente étude soulève la pertinence technique de relever sensiblement les seuils de détection des détecteurs ce qui permettrait d'être plus efficace lors des contrôles d'étanchéité.

Par ailleurs, du fait du durcissement de la réglementation en matière de fluides fluorés, et de la mise en place d'une certaine traçabilité des flux de fluides, les organismes manipulant les fluides sont tenus de connaître les flux sous leur responsabilité, mais cette traçabilité est toute relative à l'échelle d'un exploitant d'un équipement. Les auteurs du présent rapport attirent l'attention des pouvoirs publics sur l'intérêt de mettre en place une traçabilité des flux à l'échelle d'un exploitant ou d'une installation frigorifique.

7.5.2. Contexte réglementaire et normatif

La DESP 2014/68/UE, Directive sur les équipements sous pression introduit des exigences pour la réalisation installations frigorifiques ou équipements frigorifiques constitutifs d'un ensemble utilisé en réfrigération et conditionnement d'air. Ces exigences relatives à la sécurité des appareils sous pression permettent d'améliorer le confinement.

La norme NF EN 378 sur les systèmes de réfrigération et de pompes à chaleur et la norme EN 13480-5 sur les inspections et contrôles des tuyauteries industrielles sont harmonisées avec la DESP et donnent des critères de choix pour la conception et l'exploitation d'installations frigorifiques qui permettent de limiter les fuites de fluide frigorigène en contrôlant et en inspectant régulièrement le circuit.

Les pouvoirs publics peuvent s'appuyer sur les textes réglementaires existants qui favorisent le bon confinement des installations.

Les auteurs du présent rapport attirent l'attention des pouvoirs publics sur l'intérêt de standardiser, réglementer les méthodes de détections afin d'assurer une exhaustivité des contrôles d'étanchéité.

8. Références

- 1 Clodic D, Yu Y, Final report of AHRTI n°09006, *AHRTI*, 2014.
- 2 IoR, Designing out leaks: design standards and practices, *Projet Européen: real skills Europe*, 2011
- 4 Robert O, Confinement d'une grosse installation, *Colloque AFCE effet de serre V*, 2006
- 5 IoR, Real zero case study 2, *Projet Européen: real skills Europe*, 2009
- 6 Johnson E. P., Air-source heat pump carbon footprints: HFC impacts and comparison to other heat sources, *Energy Policy* 39 (2011) 1369–1381, 2011
- 7 LSBU, Eunomia Research & Consulting Ltd and the Centre for Air Conditioning and Refrigeration Research, *Impacts of Leakage from Refrigerants in Heat Pump*, 2014
- 8 C. Aprea et R. Mastrullo, An experimental evaluation of the vapour compression plant performances in presence of R407C leaks using an electronic expansion valve, *Applied Thermal Engineering Volume 22, Issue 2, February 2002, Pages 161–171*, 2002
- 9 C. Aprea, F de Rossi et C. Renno, Analysis of some recharge solutions on varying the R407C composition, *Energy Conversion and Management* 50 (2009) 2288–2295, 2009
- 10 ADEME, Fluides frigorigènes fluorés, *ADEME*, 2012
- 11 H. Tian et al., Leakage research on supercritical carbon dioxide fluid in rolling piston expander, *National Natural Science Foundation of China (Grant No. 50676064)*, 2012.
- 12 Tingxun Li, Indoor leakage test for safety of R-290 split type room air conditioner, *China Natural Science Funds (51076170), Guangdong Natural Science Fund (10151027501000095) and Midea Group*", 2014
- 14 Cazauran X, Améliorer le confinement en Europe – Résultats du projet real skills europe, *Colloque Pole Cristal*, 2011.
- 15 Rival R, Retour d'expérience 4 : Maintenance des installations de réfrigération, comment limiter les fuites : utilisation de démarches de résolution et outils de détection, *Colloque PERIFEM*, 2014.
- 16 Meurer C., European Advances in Supermarket Refrigeration Leak Reduction, *x convegno europeo - Centro Studi Galileo*, 2005
- 17 Sieglund, T.J. Wallington TJ, R-134a Emissions from Vehicles, *Environ. Sci. Technol*, 2002
- 18 Papisavva S, et al, Estimated 2017 Refrigerant Emissions of 2,3,3,3-tetrafluoropropene (HFC-1234yf) in the United States Resulting from Automobile Air Conditioning, *Environ. Sci. Technol.* 2009 43, 9252–9259, 2009
- 19 Yu Y, Clodic D., Leak flow rate of MAC systems and components: 1- Laboratory tests, fleet tests and correlation factor *International journal of refrigeration n°33 (2010)* 1465e1477, 2010
- 20 Kobana ME and Herrmann D, Dispersion Modeling of Leaks of Low Global Warming Potential Refrigerant HFO-1234yf in an Automobile Garage, *Process Safety Progress (Vol.30, No.1)*, 2011

- 21 Doran, R, LEAKDETECT (Mobile refrigeration system refrigerant leakage monitoring, Project reference: 231196, 2011
- 22 Gallagher et al., High-Global Warming Potential Fgas Emissions in California, *Environ. Sci. Technol.* 2014, 48, 1084–1093, 2014
- 23 Brochure Emerson, Choix de réfrigérants pour la réfrigération commerciale – Trouver le bon équilibre, 2009
- 24 Alfi M, Détecteurs de fuites : principe et offre commercial, *IoR*, 1995
- 25 Clodic D, Measurement and control of refrigerant leaks, 2000
- 26 I.N Grace, D.Datta, S.A. Tassou, Sensitivity of refrigeration system performance to charge, *Department of Mechanical Engineering, Brunel University*, 2004
- 27 Huchet A, Cazauran X, Hermon C, Morio Y,S, Guyot YS, Confinement des installations frigorifiques « rapport final 2004 », *ADEME/Groupe de travail Confinement du CETIM-CETIAT/ commission MFCE du CETIM*, Avril 2005.
- 28 X. Cazauran, J. Pioger, Détection de fuite : méthodes directes et indirectes, *AFCE - Colloque Effet de Serre VIII*, 2009
- 29 Tassou SA, Grace IN, "Fault diagnosis and refrigerant leak detection in vapour compression refrigeration systems" *International Journal of Refrigeration* 28 (2005) 680–688, 2005.
- 30 J. Navarro-Esbri, E. Torrella, R. Cabello "A vapour compression chiller fault detection technique based on adaptative algorithms. Application to on-line refrigerant leakage detection", *Institute of refrigeration IJR*, 2006
- 31 Heng Sun, Dan Shu, Zhihua Jiang, "Simulation study of the dynamic performance of a MRC plant with refrigerant charged or leaked", *Cryogenics*, 2012.
- 32 REAL SKILLS EUROPE, Institute of refrigeration; Europe; Real Skills Europe (RSE), 2011
- 33 Guide illustré de 13 fuites courantes, Institute of refrigeration; Europe; Real Skills Europe (RSE) , traduction AFCE.
- 34 Concevoir sans fuites, Institute of refrigeration; Europe; Real Skills Europe (RSE), traduction AFCE, 2011
- 35 Guide du bon contrôle de fuite, *IoR; Europe; Real Skills Europe (RSE)*, 2011
- 36 Importance des fuites: les responsabilités des détenteurs d'équipement, *IoR; Real Skills Europe (RSE)*, 2011
- 37 "Refrigerant Management Program Question and Answer Guidance Document", Californie, 2013
- 38 JLN (professeur), Guide pour l'analyse de l'existant technique
- 39 Compliance Guidance For Industrial Process Refrigeration Leak Repair Regulations Under Section 608 Of The Clean Air Act, "*The Chemical Manufacturers Association, The Environmental Protection Agency*", 1995
- 40 March Consulting Group, An Independent Review of the Role of HFC Refrigerants, *European Fluorocarbon Technical Committee, a Sector Group of CEFIC*, 1997

- 41 D. Colbourne, K.O. Suen, Equipment design and installation features to disperse refrigerant releases in rooms—part I: experiments and analysis, *International Journal of Refrigeration* 26 (2003) 667–673, 2003
- 42 British refrigeration association, Code of practice for refrigerant leak tightness in compliance with the F-gas regulation, *Institute of Refrigeration*, 2007
- 43 Leakage matters: the equipment owner's responsibilities, *Institute of Refrigeration*, 2009
- 44 I. Morgado, J.C. Legras, D. Clodic, Primary standard for the calibration of refrigerant leak flow rates, *Revue Metrologia*, 2010
- 45 Cowan D., Gartshore J, Chaer I, Francis C, Maidment G., REAL Zero – Reducing refrigerant emissions & leakage - feedback from the IOR Project, *Institute of Refrigeration*, 2009
- 46 Bender F, Skrypnik A, Voigt A, Marcoll J, Rapp M, Selective Detection of HFC and HCFC Refrigerants using a Surface Acoustic Wave Sensor System, *Anal. Chem.* 2003, 75, 5262-5266, 2003
- 47 Importance des fuites: les responsabilités des opérateurs, *Institute of Refrigeration*; Europe; Real Skills Europe (RSE), 2011
- 48 Galloway J, Examination of the Global Warming Potential of Refrigeration in the Food Chain, *Department for Environment Food & Rural Affairs*, 2011
- 49 Registres F-Gaz et Calculateur d'Emissions, Real skills Europe, 2011
- 50 Koronaki IP, Refrigerant emissions and leakage prevention across Europe - Results from the Real Skills Europe project", *Energy* 45 (2012) 71e80, 2012
- 51 US government, Ozone Layer Protection - Regulatory Programs, *US environmental protection Agency*, 1995
- 52 Barrault S, Saba S, Clodic D, Inventaires des émissions des fluides frigorigènes et leurs prévisions d'évolution jusqu'en 2022, ADEME, 2010

9. Liste des tableaux

TABLEAU 1. TYPOLOGIE D'ARCHITECTURE DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES	12
TABLEAU 2. THEMES ABORDES DANS LES DOCUMENTS ANALYSES	14
TABLEAU 3. NATURE DES DOCUMENTS	16
TABLEAU 4. EVOLUTION DE LA PRESSION EN FONCTION DE LA TEMPERATURE POUR L'AZOTE.....	18
TABLEAU 5. COMPARAISON DES METHODES DE DETECTION	19
TABLEAU 6. TAUX D'EMISSION FUGITIVE PAR DOMAINE ET SOUS-SECTEUR*	21
TABLEAU 7. TAUX DE FUITE DE JOINTS FLARE EN FONCTION DU COUPLE (EXTRAIT RAPPORT AHRTI [1]).....	23
TABLEAU 8. DETERMINATION DU TEMPS DE REACTION DU DETECTEUR.....	36
TABLEAU 9. DETERMINATION DE L'INFLUENCE DE LA DISTANCE DETECTEUR/FUITE ETALON SUR LA DETECTION DU GAZ.....	36
TABLEAU 10: CALCUL DE LA CONTRIBUTION D'UNE CLASSE SUR LA PERTE TOTALE, ET CALCUL DE LA MASSE POTENTIELLEMENT PERDUE PAR AN POUR NOMBRE DE FUITE EGALE A 100	39

10. Liste des figures

FIGURE 1. VENTILATION DES DOCUMENTS PAR DATE DE PUBLICATION.....	17
FIGURE 2. REPARTITION DES FLUIDES FORMANT LA BANQUE DE FLUIDE EN FRANCE METROPOLE.	20
FIGURE 3. REPARTITION SECTORIELLE DE LA BANQUE DE FLUIDES FRIGORIGENES.....	20
FIGURE 4. VARIATION DE LA PUISSANCE FRIGORIFIQUE EN FONCTION DE LA CHARGE EN FLUIDE.....	22
FIGURE 5. ILLUSTRATION TEST DE SERRAGE	23
FIGURE 6. CLASSEMENT DES FUITES PAR ELEMENTS EN FONCTION DE LEUR APPARITION DANS LES DOCUMENTS REFERENCES.	24
FIGURE 7. PHOTO DU DISPOSITIF D'ESSAIS.....	31
FIGURE 8. RESULTAT AVEC MANOMETRE NUMERIQUE.....	32
FIGURE 9. RESULTAT SUR LE MANOMETRE A AIGUILLE, AVEC DEUX ANGLES DE VUE DIFFERENT	33
FIGURE 10. SCHEMA DU DISPOSITIF D'ESSAI	35
FIGURE 11. INFLUENCE DU DEBIT DE LA FUITE DE GAZ SUR LA DISTANCE MINIMALE DE DETECTION	37
FIGURE 12 : FREQUENCE D'APPARITION DES FUITES EN FONCTION DE LEUR CLASSE (G/AN) ENTREPOT (R22) EXTRAIT REFERENCE [27]	38
FIGURE 13. NATURE DES INSTALLATIONS ANALYSEES DANS LE PANEL	41
FIGURE 14. LOCALISATION DES FUITES POUR LES GROUPES FRIGORIFIQUES DE TRANSPORT	42
FIGURE 15. EXEMPLE DE FICHE D'INTERVENTION MAL RENSEIGNEE	45
FIGURE 17. EXEMPLE DE CORROSION AVANCEE SUR UN RESERVOIR DE LIQUIDE SITUE EN EXTERIEUR	46
FIGURE 18. EXEMPLE DE FLASQUE COMPRESSEUR TRES CORRODEE	47
FIGURE 19. PRESENCE D'HUILE SUR LE SOL.....	47
FIGURE 20. PRESSOSTAT SANS BOITE DE PROTECTION, SOUFFLET DE PRESSOSTAT EN MAUVAIS ETAT	48
FIGURE 21. EXEMPLE DE SOUDURE MAL REALISEE.....	48
FIGURE 22. PRESENCE SYSTEMATIQUES DE FLEXIBLE.....	49
FIGURE 23. ABSENCE DE BOUCHON SUR VANNE	49
FIGURE 24 EXEMPLE DE CALFEUTRAGE DE BRIDE POUR UNE DETECTION DE FUITE PLUS EFFICACE	50
FIGURE 25. EXEMPLE DE CERTIFICAT D'ETALONNAGE	50

Annexes

Annexe 1 : Modèle de l'enquête en ligne



Enquête : Confinement des installations

Le Cemafrroid et IRSTEA réalisent une étude sur le confinement des installations frigorifiques

L'**AFCE** (Alliance Froid Climatisation Environnement) et l'**ADEME** lancent une étude sur le confinement des installations frigorifiques. L'objectif affiché est de fournir une **typologie des origines des fuites** dans les installations et en **déduire des préconisations pour les limiter**. Le nouveau règlement européen F-Gaz renforce en effet les prérogatives du précédent règlement concernant l'incitation au confinement des fluides frigorigènes dans les circuits, l'obligation du contrôle régulier d'étanchéité et de l'installation de détecteurs de fuites dans les installations de plus de 500 t.éq. CO₂ de gaz fluorés, notamment.

Afin de compléter ce questionnaire, nous vous conseillons de vous munir préalablement du **registre de l'installation ou des fiches d'intervention** précisant les charges en fluides frigorigènes et les opérations de maintenance effectuées.

Aucun champ technique n'est obligatoire, cependant pour la qualité de notre étude, nous vous remercions de vous efforcer à compléter le plus précisément possible chacun des champs et de fournir, à minima, les **fiches d'intervention sur l'installation**.

La **confidentialité des échanges** sera assurée par les consultants et aucune donnée chiffrée sur l'installation elle-même ne sera publiée.

Les **participants à l'enquête** disposeront d'informations pour comparer le niveau de confinement global de leur installation au confinement moyen du secteur d'activité considéré.

La durée de saisie est estimée à **15 minutes**.



Le **rapport final**, présentant notamment les données qualitatives sur les origines des fuites et des préconisations, sera **rendu public** via internet sur le site du commanditaire de l'étude (www.afce.asso.fr).

Pour toute question ou difficulté lors de la saisie, n'hésitez pas à contacter Thomas Michineau, le pilote de l'étude, au 01 49 84 84 84 ou par mail à thomas.michineau@cemafrroid.fr.

L'enquête est ouverte jusqu'à fin **février 2015**. Une fois complété, merci de renvoyer par mail le document scanné à l'adresse suivante : thomas.michineau@cemafrroid.fr

Enquête : Confinement des installations

Participant au panel de l'étude

NOM : Prénom :
 Entreprise : Fonction :
 E-mail : Tél :

Information générale sur l'installation

Application concernée :
 Cocher la case correspondante

Agroalimentaire	Froid commercial	
Climatisation fixe	Pompe à chaleur	
Climatisation mobile	Procédé industriel	
Entreposage	Transport frigorifique	

Adresse de l'installation :

Adresse :
 Code Postal : Ville :

Responsable technique de l'exploitant de l'installation :

NOM : Prénom :
 Entreprise : Fonction :
 E-mail : Tél :

Date de mise en service : __/__/__

Type d'architecture de l'installation :

Décrire l'installation, exemple : centrale de production d'eau glacée

Marque/Assembleur

Mentionner la marque pour un équipement ou les coordonnées de l'installateur pour une installation assemblée sur site.

Enquête : Confinement des installations

Fiches d'intervention sur l'installation au cours des 2 dernières années

Merci de bien vouloir nous envoyer un scan de l'ensemble des fiches d'intervention référencées ci-dessous.

Intervention 1

Date : _____ Société : _____
 Quantité de fluide chargée (en kg) : _____ Quantité de fluide récupérée (en kg) : _____
 Organe ou composant éventuellement réparé : _____

Nature de l'intervention (Cocher la case correspondante) :

Entretien périodique	Panne	
Contrôle d'étanchéité	Retrofit	
Recherche de fuite localisée	Modification de l'installation	
Autre : (préciser)		

Intervention 2

Date : _____ Société : _____
 Quantité de fluide chargée (en kg) : _____ Quantité de fluide récupérée (en kg) : _____
 Organe ou composant éventuellement réparé : _____

Nature de l'intervention (Cocher la case correspondante) :

Entretien périodique	Panne	
Contrôle d'étanchéité	Retrofit	
Recherche de fuite localisée	Modification de l'installation	
Autre : (préciser)		

Intervention 3

Date : _____ Société : _____
 Quantité de fluide chargée (en kg) : _____ Quantité de fluide récupérée (en kg) : _____
 Organe ou composant éventuellement réparé : _____

Nature de l'intervention (Cocher la case correspondante) :

Entretien périodique	Panne	
Contrôle d'étanchéité	Retrofit	
Recherche de fuite localisée	Modification de l'installation	
Autre : (préciser)		

Intervention 4

Date : _____ Société : _____
 Quantité de fluide chargée (en kg) : _____ Quantité de fluide récupérée (en kg) : _____
 Organe ou composant éventuellement réparé : _____

Nature de l'intervention (Cocher la case correspondante) :

Entretien périodique	Panne	
Contrôle d'étanchéité	Retrofit	
Recherche de fuite localisée	Modification de l'installation	
Autre : (préciser)		

Intervention 5

Date : _____ Société : _____
 Quantité de fluide chargée (en kg) : _____ Quantité de fluide récupérée (en kg) : _____
 Organe ou composant éventuellement réparé : _____

Nature de l'intervention (Cocher la case correspondante) :

Entretien périodique	Panne	
Contrôle d'étanchéité	Retrofit	
Recherche de fuite localisée	Modification de l'installation	
Autre : (préciser)		

Enquête : Confinement des installations

Intervention 6

Date :

Société :

Quantité de fluide chargée (en kg) :

Quantité de fluide récupérée (en kg) :

Organe ou composant éventuellement réparé :

Nature de l'intervention (Cocher la case correspondante) :

Entretien périodique	<input type="checkbox"/>	Panne	<input type="checkbox"/>
Contrôle d'étanchéité	<input type="checkbox"/>	Retrofit	<input type="checkbox"/>
Recherche de fuite localisée	<input type="checkbox"/>	Modification de l'installation	<input type="checkbox"/>
Autre : (préciser)			

Intervention 7

Date :

Société :

Quantité de fluide chargée (en kg) :

Quantité de fluide récupérée (en kg) :

Organe ou composant éventuellement réparé :

Nature de l'intervention (Cocher la case correspondante) :

Entretien périodique	<input type="checkbox"/>	Panne	<input type="checkbox"/>
Contrôle d'étanchéité	<input type="checkbox"/>	Retrofit	<input type="checkbox"/>
Recherche de fuite localisée	<input type="checkbox"/>	Modification de l'installation	<input type="checkbox"/>
Autre : (préciser)			

Intervention 8

Date :

Société :

Quantité de fluide chargée (en kg) :

Quantité de fluide récupérée (en kg) :

Organe ou composant éventuellement réparé :

Nature de l'intervention (Cocher la case correspondante) :

Entretien périodique	<input type="checkbox"/>	Panne	<input type="checkbox"/>
Contrôle d'étanchéité	<input type="checkbox"/>	Retrofit	<input type="checkbox"/>
Recherche de fuite localisée	<input type="checkbox"/>	Modification de l'installation	<input type="checkbox"/>
Autre : (préciser)			

Intervention 9

Date :

Société :

Quantité de fluide chargée (en kg) :

Quantité de fluide récupérée (en kg) :

Organe ou composant éventuellement réparé :

Nature de l'intervention (Cocher la case correspondante) :

Entretien périodique	<input type="checkbox"/>	Panne	<input type="checkbox"/>
Contrôle d'étanchéité	<input type="checkbox"/>	Retrofit	<input type="checkbox"/>
Recherche de fuite localisée	<input type="checkbox"/>	Modification de l'installation	<input type="checkbox"/>
Autre : (préciser)			

Intervention 10

Date :

Société :

Quantité de fluide chargée (en kg) :

Quantité de fluide récupérée (en kg) :

Organe ou composant éventuellement réparé :

Nature de l'intervention (Cocher la case correspondante) :

Entretien périodique	<input type="checkbox"/>	Panne	<input type="checkbox"/>
Contrôle d'étanchéité	<input type="checkbox"/>	Retrofit	<input type="checkbox"/>
Recherche de fuite localisée	<input type="checkbox"/>	Modification de l'installation	<input type="checkbox"/>
Autre : (préciser)			

Enquête : Confinement des installations

Information complémentaires

Fluides utilisés

Nature du fluide frigorigène

Utiliser la nomenclature normalisée (R134a, R404A, R717, R744, ...)

Quantité de fluide frigorigène

Mentionner la quantité nominale (en kg de fluide) présente sur la plaque de l'équipement

Compresseur

Puissance frigorifique totale de l'installation

En kW

Nombre de compresseurs

Mentionner la quantité nominale (en kg) présente sur la plaque de l'équipement

Type de compresseurs

Cocher la case correspondante

Piston	<input type="checkbox"/>	Scroll	<input type="checkbox"/>
Centrifuge	<input type="checkbox"/>	Rotatif	<input type="checkbox"/>
Vis	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Le compresseur est-il ?

Cocher la case correspondante

Ouvert	<input type="checkbox"/>	Semi-hermétique	<input type="checkbox"/>
Hermetique	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Enquête : Confinement des installations

Circuit frigorifique

Vos tuyauteries sont-elles protégées mécaniquement contre les chocs liés à l'activité concernée (protection contre les chocs d'un engin de manutention dans un entrepôt, protection du bâti pour un rooftop, ...)

Cocher la case correspondante

Non concerné	Conception empêchant les chocs (réseau enterré)	
Protection par capotage, grille	Conception empêchant les chocs (en hauteur)	
Mise en place d'une signalétique	Circuit non protégé	

Votre équipement/installation dispose-t-il de dispositifs anti vibratiles?

Si vous répondez par l'affirmative veuillez préciser le type de dispositif et sa localisation : silent block, anaconda, suspente anti-vibratile, ...

Gestion de la maintenance

L'installation a-t-elle fait l'objet d'un contrôle des équipements sous pression en service ?

Cocher la case correspondante

OUI	NON	
-----	-----	--

La maintenance est-elle externalisée ?

Cocher la case correspondante

OUI	NON	
-----	-----	--

Quelle typologie de maintenance appliquez-vous ?

Cocher la case correspondante

Curative	Preventive systematique (sur agenda)	
Preventive conditionnelle (sur usure de piece)		

Le contrat de maintenance inclut-il la recharge en fluide ?


Cocher la case correspondante

OUI	NON	
-----	-----	--

Nous vous remercions pour votre participation à l'étude et vous prions de bien vouloir nous renvoyer ce document dûment complété et accompagné des fiches d'intervention :

- par mail : thomas.michineau@cemafroid.fr
- ou
- par courrier : à l'attention de Thomas Michineau, à l'adresse indiquée en bas de page

Annexe 2 : Modèle de rapport de visite

Etude sur le confinement des installations			
			
Date de la visite:			
Contacts	détenteur	frigoriste	Auditeur
Nom			
Prénom			
Tel			
Mail			
Entreprise			
Installation			
Adresse 1:		code postal :	
Adresse 2:		Ville :	
Application concernée:			
Typologie d'installation			
Revue documentaire			OUI
vérification des réponses à l'enquête :			
Mise à disposition du DOE :			
Mise à disposition du registre de maintenance :			
Mise à disposition des fiches d'interventions :			
Mise à disposition du contrat de maintenance :			
Contrôle visuel de l'installation (Annexer Photos au rapport de visite)	points à vérifier	bon état général	mauvais état risque de fuite
Evaporateur: (crosses)	point de corrosion, défaut de surface, vibration, choc		
Condenseur: (crosses)	point de corrosion, défaut de surface, vibration, choc		
Vannes d'isolement:	contrôle visuel du presse étoupe. Présence ou non d'un capuchon		
Vannes shrader:	âme de la vanne, présence ou non d'un bouchon		
Raccord Flare:	contrôle visuel du serrage des raccords, défaut de surface du dudgeon		
Joints mécaniques et brides (filtre deshydrateur)	contrôle visuel du serrage des boulons		
Soupape de sécurité: (ou bouchon fusible)	liaison âme disque présence d'indicateur de décharge		
Garniture d'étanchéité (cas des compresseurs ouverts)	perte d'huile par le joint tournant, montage de la garniture, lignage de l'arbre		
Robinets autoperçants:	état du tube, taille du robinet par rapport au tube, desserrage du au vibration		
Pressostats:	état du connecteur, soufflet, raccord flare, support de fixation		
Joints toriques (voyants, vannes magnétiques)	durcissement ou aplatissement fuite suite à réaction à une nouvelle huile (retrofit)		
capillaires (raccordement d'instrument de mesure ou éléments de détente)	pb de fixations soudure/raccord defectueux		
Ligne d'aspiration	corrosion de la ligne d'aspiration due à la condensation		
circuit frigorifique	présence de point de corrosion suspenste antivibratile, anaconda		

REX sur fuite passée	Commentaires libres
<i>Détenteur de l'installation (notes de l'auditeur)</i>	
<i>Frigoriste</i>	
Maintenance	Commentaires libres
<i>Détenteur de l'installation appréciation générale du détenteur de l'installation sur la qualité de la maintenance effectuée sur son installation. (notes de l'auditeur)</i>	
CR de la recherche de fuite	Commentaires libres
<i>Auditeur</i>	

Annexe 3 : Fiches d'analyse des documents référencés

L'annexe 3 est fournie dans un fichier séparé

Annexe 4 : Fiches de visite complétées

Les fiches sont fournies dans un fichier séparé classé selon les domaines d'activités :

- Réseau de froid /Système de climatisation de forte puissance : Fiches n°1, 4, 6 et 18
- Entrepôt : Fiches n°3, 9, 10, 11 et 14
- Froid commercial, GMS : Fiches n°5, 8, 12, 13, 16 et 17
- Industrie Agroalimentaire Fiches n°2, 7, 15

Annexe 5 : Fiches par secteur

Fiches sectorielles						
Domaine:	Froid commercial					
segment	Système centralisé à détente directe ou indirecte en froid positif & négatif					
DESCRIPTION DU SYSTÈME						
Charge moyenne (Kg)	300 à 1000	Fluide utilisé	R404A	R507A		
Banque de fluide en France	1780 tonnes	GWP	3700	3800		
PRINCIPALES CAUSES DE FUITES						
Les causes de fuites	échangeurs de chaleurs	Les terminaux (évaporateurs de chambres froide, évaporateurs de meubles frigorifiques de vente, équipements connectés aux boucles positives et négatives). Sur la boucle positive, les évaporateurs (en cuivre) des chambres de poudres (chambre de stockage des pâtons pour produits de boulangerie) sont souvent poreux. Sur la boucle négative, les machines à glaces, (pour étal de produit de la mer) sont souvent incriminées.				
	Raccord de prise de pression	Raccord de type Schrader trop important augmente le risque de fuite				
	Soupape	Soupape ne retrouve pas sa position initiale lorsque la pression retombe				
	Garniture d'étanchéité des compresseurs	Usure générale de la garniture au cours du temps, augmentation de perte d'huile par le joint tournant Mauvaise lubrification Mauvais montage d'une garniture d'étanchéité neuve Mauvais lignage de l'arbre				
	Pressostats	Vibration causant la rupture du connecteur ou la dégradation du pressostat Frottement du connecteur Rupture du soufflet à cause de vibrations ou d'efforts hydrauliques Défaut du raccord flare Pressostat mal supporté ou mal fixé				

PRECONISATIONS		
Conception	Accessibilité	Pour faciliter les travaux de maintenance, rendre accessible l'ensemble de l'installation y compris les réseaux de distribution. Proscrire, les tranchées et réseaux enterrés.
	Vibrations	Limiter les vibrations qui sont une source importante de fatigue sur les réseaux de tuyauteries et sont à l'origine de nombreuses fuites. Monter les équipements sur plots et les tuyauteries sur suspente anti-vibratile
	Matériau	Pour les chambres de pousse, préférer les évaporateurs en inox plutôt que les évaporateurs en cuivre
Installation	Personnel	Le personnel de montage doit être qualifié et les soudeurs habilités ce qui implique à minima de détenir une attestation d'aptitude le suivi en service des équipements sous pression permet de prévenir les risques, le personnel doit être formé et habilité
	Opérations	Serrer les brides au couple préconisé par le fabricant Protéger avec un chiffon humide l'organe brasé, afin d'éviter de détériorer le joint
	Détection	Il est impératif d'installer des détecteurs de fuite en salle des machines. Pour placer au mieux les sondes des détecteurs d'ambiance, il est recommandé de : - Réaliser un diagnostic général de l'état de l'installation en termes de fuites. - Recenser les éléments les plus sensibles (exemples : vannes et valve de charge, etc.) - Placer les sondes au plus proche de ces éléments. - Apporter un soin particulier à la hauteur à laquelle la sonde doit être située en fonction du type de gaz qu'elle va être amenée à détecter (fluide plus lourd ou léger que l'air). Utiliser si possible la détection de fuite indirecte avec report d'alarme.
Exploitation	Maintenance	Privilégier les contrats de service « longue durée » pour permettre de rentabiliser sur la durée les actions menées dans la réduction des fuites et assurer une conduite de l'installation intelligente.
Maintenance	Personnel	le suivi en service des équipements sous pression permet de prévenir les risques, le personnel doit être formé et habilité
	Surveillance	Réaliser une maintenance préventive et un contrôle des performances et remettre un compte-rendu au détenteur de l'équipement. Etre vigilant dans la surveillance de l'installation (vibrations, bouchons (et joints) mal serrés ou manquants...) et dans la réalisation des contrôles (ante et post fuite); Savoir déceler, réaliser ou proposer les opérations de maintenance préventives sur les pièces sensibles et corriger au plus vite tout point de corrosion est un élément essentiel ; Les fuites sur raccords apparaissent souvent après une opération de maintenance, il est donc crucial de bien faire le test d'étanchéité au détecteur électronique avant de quitter l'installation.
Démantèlement	Récupération	Lors du démantèlement, bien veiller à la récupération de l'ensemble de la charge en fluide ainsi que l'huile qui doit être également récupérée pour dépollution.

Fiches sectorielles						
Domaine:		Industrie Agro-alimentaire : procédés de refroidissement , entrepot frigorifique,...				
segment		Système centralisé à détente directe pour froid positif ou négatif				
DESCRIPTION DU SYSTÈME						
Charge moyenne (Kg)	qq centaines à plusieurs tonnes	Fluide utilisé	R404A			
Banque de fluide en France	5000	GWP	3700			
PRINCIPALES CAUSES DE FUITES						
Les causes de fuites	échangeurs de chaleurs	Les terminaux (évaporateurs de chambres froide, évaporateurs de meubles frigorifiques de vente, équipements connectés aux boucles positives et négatives). Sur la boucle positive, les évaporateurs (en cuivre) des chambres de pouces (chambre de stockage des pâtons pour produits de boulangerie) sont souvent poreux. Sur la boucle négative, les machines à glaces, (pour étal de produit de la mer) sont souvent incriminées.				
	Raccord de prise de pression	Raccord de type Schrader trop important augmente le risque de fuite				
	Soupape	Soupape ne retrouve pas sa position initiale lorsque la pression retombe				
	Garniture d'étanchéité des compresseurs	Usure générale de la garniture au cours du temps, augmentation de perte d'huile par le joint tournant Mauvaise lubrification Mauvais montage d'une garniture d'étanchéité neuve Mauvais lignage de l'arbre				
	Pressostats	Vibration causant la rupture du connecteur ou la dégradation du pressostat Frottement du connecteur Rupture du soufflet à cause de vibrations ou d'efforts hydrauliques Défaut du raccord flare Pressostat mal supporté ou mal fixé				

PRECONISATIONS		
Conception	Accessibilité	Pour faciliter les travaux de maintenance, rendre accessible l'ensemble de l'installation y compris les réseaux de distribution. Proscrire, les tranchées et réseaux enterrés.
	Vibrations	Limitier les vibrations qui sont une source importante de fatigue sur les réseaux de tuyauteries et sont à l'origine de nombreuses fuites. Monter les équipements sur plots et les tuyauteries sur suspente anti-vibratile
Installation	Personnel	Le personnel de montage doit être qualifié et les soudeurs habilités ce qui implique à minima de détenir une attestation d'aptitude le suivi en service des équipements sous pression permet de prévenir les risques, le personnel doit être formé et habilité
	Opérations	Serrer les brides au couple préconisé par le fabricant Protéger avec un chiffon humide l'organe brasé, afin d'éviter de détériorer le joint
	Détection	Il est impératif d'installer des détecteurs de fuite en salle des machines. Pour placer au mieux les sondes des détecteurs d'ambiance, il est recommandé de : - Réaliser un diagnostic général de l'état de l'installation en termes de fuites. - Recenser les éléments les plus sensibles (exemples : vannes et valve de charge, etc.) - Placer les sondes au plus proche de ces éléments. - Apporter un soin particulier à la hauteur à laquelle la sonde doit être située en fonction du type de gaz qu'elle va être amenée à détecter (fluide plus lourd ou léger que l'air). Utiliser si possible la détection de fuite indirecte avec report d'alarme.
Exploitation	Maintenance	Privilégier les contrats de service « longue durée » pour permettre de rentabiliser sur la durée les actions menées dans la réduction des fuites et assurer une conduite de l'installation intelligente.
Maintenance	Personnel	le suivi en service des équipements sous pression permet de prévenir les risques, le personnel doit être formé et habilité
	Surveillance	Réaliser une maintenance préventive et un contrôle des performances et remettre un compte-rendu au détenteur de l'équipement. Etre vigilant dans la surveillance de l'installation (vibrations, bouchons (et joints) mal serrés ou manquants...) et dans la réalisation des contrôles (ante et post fuite); Savoir déceler, réaliser ou proposer les opérations de maintenance préventives sur les pièces sensibles et corriger au plus vite tout point de corrosion est un élément essentiel ; Les fuites sur raccords apparaissent souvent après une opération de maintenance, il est donc crucial de bien faire le test d'étanchéité au détecteur électronique avant de quitter l'installation.
Démantèlement	Récupération	Lors du démantèlement, bien veiller à la récupération de l'ensemble de la charge en fluide ainsi que l'huile qui doit être également récupérée pour dépollution.

Cycle de vie d'une installation ou d'un équipement


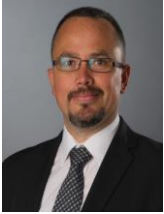
Fiches sectorielles						
Domaine:		Froid domestique, climatisation monobloc, petit équipement froid commercial				
segment		Système hermétique				
DESCRIPTION DU SYSTÈME						
Charge moyenne (Kg)	150g à qq kg	Fluide utilisé	R134a	R410A		
Banque de fluide en France	2600 tonnes	GWP	1370	2100		
PRINCIPALES CAUSES DE FUITES						
Les causes de fuites	appareils monoblocs	Par définition, les appareils monoblocs, sont sensés ne pas fuir à la sortie d'usine. Les fuites peuvent être occasionnées par des vibrations liées au fonctionnement du système ou à son environnement et sont principalement localisées au niveau des crosses des échangeurs ou raccordement pressostatiques s'il y a lieu.				
PRECONISATIONS						
Cycle de vie d'une installation ou d'un équipement	Conception	test d'étanchéité	Réaliser systématiquement un test d'étanchéité à l'hélium			
		Vibrations	Envisager un tracé de tube qui permette d'absorber les vibrations (en fonction de l'application considérée)			
	Installation	Personnel	Le personnel de montage doit être qualifié et les soudeurs habilités ce qui implique à minima de détenir une attestation d'aptitude			
	Exploitation	Maintenance	l'exploitant, ou détenteur de l'installation doit veiller au nettoyage régulier des échangeurs			
	Maintenance	Personnel	Le personnel de maintenance doit être qualifié et les soudeurs habilités ce qui implique à minima de détenir une attestation d'aptitude			
Réparation		Lors d'intervention nécessitant le remplacement d'un composant (filtre deshydrateur par exemple), conserver les raccords à braser plutôt que les raccords vissés pour préserver l'étanchéité de l'équipement.				
Démantèlement	Récupération	Lors du démantèlement, bien veiller à la récupération de l'ensemble de la charge en fluide ainsi que l'huile qui doit être également récupérée pour dépollution.				

Fiches sectorielles						
Domaine:		Transport frigorifique				
segment		système poulie moteur				
DESCRIPTION DU SYSTÈME						
Charge moyenne (Kg)	1,58	Fluide utilisé	R404A			
Banque de fluide en France	100 tonnes	GWP	3700			
PRINCIPALES CAUSES DE FUITES						
Les causes de fuites	circuit frigorifique	Pour les groupes poulie moteur, 29% des fuites constatées sont localisées sur des tubulures (tubes percés dûs aux vibrations)				
	Raccord de prise de pression	Raccord de type Schrader sont des sources importantes de fuites (10% des fuites constatées)				
	compresseurs	Usure générale de la garniture au cours du temps, augmentation de perte d'huile par le joint tournant, correspondant à environ 40% des fuites				
PRECONISATIONS						
Cycle de vie d'une installation ou d'un équipement	Conception	Vibrations	Limiter les vibrations qui sont une source importante de fatigue sur les réseaux de tuyauteries et sont à l'origine de nombreuses fuites.			
	Installation	Opérations	Les groupes sont montés d'usines. Les principales sources de fuites viennent des points de raccordements (flexibles, ou évaporateurs supplémentaires dans le cas des groupes multi-températures). Respecter les préconisations de montage des raccords (lubrifier les joints)			
		Détection	Mise sous épreuve de l'installation frigorifique après raccordement, puis contrôle au détecteur de fuite après charge en fluide frigorigène.			
	Exploitation	Opérations	Les groupes ne doivent pas être laissés à l'arrêt sur une période trop longue : risque de séchage des joints d'arbre de compresseur et donc de fuite.			
	Maintenance	Surveillance	Etre vigilant dans la surveillance de l'installation (vérification de la tension de la courroie, roulements, vibrations, bouchons (et joints) mal serrés ou manquants...) et dans la réalisation des contrôles (ante et post fuite); Les fuites sur raccords apparaissent souvent après une opération de maintenance, il est donc crucial de bien faire le test d'étanchéité au détecteur électronique. Lors du remplacement du joint d'arbre du compresseur, il faut respecter les préconisations de montage et bien le lubrifier avant remplacement.			
Démantèlement	Récupération	Lors du démantèlement, bien veiller à la récupération de l'ensemble de la charge en fluide ainsi que l'huile qui doit être également récupérée pour dépollution.				



Annexe 6 : liste des Experts du consortium ayant participé à l'étude



Experts Cemafruid

Nom et Fonction	Diplômes et Formations	Expériences et compétences	Références
<p>Eric DEVIN</p>  <p>Directeur général – Président Cemafruid Formation</p>	<p>Ingénieur de l'université Paris XI – Orsay Filière « Sciences et génie des matériaux »</p>	<p>Eric Devin a débuté sa carrière au laboratoire national d'essais (LNE), responsable des laboratoires d'essais et de métrologie en thermique, chef de la division métrologie légale pendant 5 ans. Il a participé activement à l'ouverture au marché européen dans le cadre de directive nouvelle approche. Fin 2007, Eric DEVIN rejoint le Cemafruid pour contribuer à son développement en particulier dans le domaine de la certification, positionnant le Cemafruid en tête des organismes agréés sur les fluides frigorigènes.</p> <p>Eric Devin est membre actif au sein de l'AFF dont il est président du comité IDF, Président de la sous-commission CERTÉ au sein de l'IIF dédiée au transport et vice-président du WP11 de l'UNECE pour la réglementation ATP. Il participe également au comité français de métrologie et est Vice-Président de l'AFCE.</p> <p>Il coordonne le consortium Datafluides qui regroupe 3 organismes agréés pour les attestations de capacité et qui concerne plus de 12 000 entreprises en France</p>	<p>MINISTERE DE L'INDUSTRIE (DARQSI), MEEDE, CECOD, OIML, WELMEC, ISO, CEN, AFNOR, SYNDICAT DE LA MESURE, UNECE, INSTITUT INTERNATIONAL DU FROID, ASSOCIATION FRANÇAISE DU FROID, TRANSFRIGOROUT E FRANCE</p>
<p>Thomas MICHINEAU</p>  <p>Responsable Unité Expertise & Etudes</p>	<p>MBA en Marketing et Stratégie Ecole Supérieure de Commerce Extérieur (ESCE), IAE Poitiers</p> <p>Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes (EPUN) Département Thermique – Énergétique, Option Froid Climatisation</p>	<p>Thomas Michineau a débuté comme responsable adjoint du département d'information scientifique et technique, Institut International du Froid (IIF). Il a à cette occasion rencontré la plupart des experts internationaux dans le domaine du froid et participé à de nombreux colloques. Il a rejoint le Cemafruid en 2012 où il a pris en charges des études diverses (études de marché dans les alternatives aux groupes à compression dans le transport, études des installations des GMS, froid magnétique, Etude européenne. Il pilote le projet d'implantation de la nouvelle plateforme d'essais du Cemafruid (ammoniac CO₂)</p>	<p>EDF, IIF, UE</p>

<p>Florence MOULINS</p>  <p>Ingénieur expertise conseil</p>	<p>Marketing stratégique INM-IFG</p> <p>Diplôme supérieur du Froid Industriel IFFI-CNAM</p> <p>BTS Froid et Climatisation</p>	<p>Directrice prescription France et adjointe au directeur marketing chez ANYO puis Directeur des ventes OEMS chez TECUMSEH EUROPE, Florence a ensuite été responsable des ventes distribution et chef produits chez ACAL SA et Ingénieur technico-commerciale climatisation chez TOSHIBA SYSTEMES SA avant de rejoindre le Cemafrroid.</p> <p>Membre de l'Association Française du Froid (AFF), Florence intervient dans de nombreuses missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage, d'audits énergétiques de retrofit, de retro commissionning en France et en Europe.</p>	<p>SANYO, TECUMSEH EUROPE, ACAL SA, TOSHIBA SYSTEMES SA, AFF</p>
<p>Frédéric Vannson</p>  <p>Responsable Unité ADC & Inspection</p>	<p>BTS frigoriste, la Martinière, Lyon,</p> <p>Formation à l'institut du froid industriel (IFFI)</p>	<p>Consultant technique chez Petit Forestier (1995 à 2012). Auditeur fluide, inspecteur certifié PAC Clim, il rejoint le Cemafrroid en 2013 pour prendre la direction de l'unité ADC inspection</p>	<p>Petit Forestier</p>

Experts IRSTEA

Nom et Fonction	Diplômes et Formations	Expériences et compétences	Références
<p>Laurence FOURNAIS ON</p>  <p>Directeur de recherche</p>	<p>Doctorat en énergétique de Paris VI (1991)</p> <p>HDR UTC Compiègne (2006)</p>	<p>Après un doctorat en 1991 sur le stockage de froid, elle a mené un ensemble de travaux de recherche sur le stockage de froid et a développé une expertise sur les fluides frigoprotecteurs diphasiques. Elle a monté et piloté de nombreux projets nationaux et internationaux dans le domaine de la réfrigération, associant à la fois des partenaires académiques et industriels.</p> <p>En 2011, elle a pris la direction de l'Unité de Recherche de génie des procédés frigorifiques à Irstea qui regroupe 30 personnes. Elle est membre actif de l'AFF et préside le groupe de travail international sur les matériaux à changement de phase de l'IIF.</p>	<p>CEMAGREF, IRSTEA, IIF</p>
<p>Anthony DELAHAYE</p>  <p>Ingénieur de recherche</p>	<p>Ingénieur en Génie des Procédés – ENSGTI Pau (1999)</p> <p>Doctorat en Génie des Procédés – Paris 13 (2002)</p> <p>HDR - Paris 6 (2013)</p>	<p>Après avoir travaillé sur les effets thermiques liés au stockage d'hydrogène au cours de sa thèse de doctorat en génie chimique au CNRS (LIMHP-Paris 13), Anthony Delahaye a été engagé en 2002 au Cemagref (ancien Irstea), où il a collaboré à divers programmes nationaux et internationaux, en particulier sur les coulis et le stockage thermique (glace, hydrates, PCM) en réfrigération secondaire. Depuis 2013, il est responsable de l'équipe Enerfri (efficacité énergétique des systèmes frigorifiques) dans l'Unité de Recherche de génie des procédés frigorifiques d'Irstea.</p> <p>Il a publié 22 articles à comité de lecture internationaux, 45 communications.</p>	<p>CEMAGREF, IRSTEA</p>

<p>Denis LEDUCQ</p>  <p>Ingénieur de recherche</p>	<p>Ingénieur ENGEES (1989)</p> <p>Doctorat Génie des Procédés AgroParisTech (2002)</p>	<p>Après un mastère en énergétique et contrôle commande en 1998, puis un doctorat en 2002, il exerce actuellement une activité d'ingénierie et de recherche à l'Irstea d'Antony et participe à plusieurs programmes de recherche nationaux et européens.</p> <p>Il a participé à la création et est membre du comité de direction du groupe de travail RCR (Refrigerant Charge Reduction) de l'Institut International du Froid. Il est l'auteur de plus de 50 publications scientifiques et techniques dans le domaine du froid, de l'amélioration de l'efficacité énergétique des installations frigorifiques et de la réduction de charge en frigorigène.</p>	<p>CEMAGREF, IRSTEA</p>
<p>Romuald HUNLEDE</p>  <p>Ingénieur d'études</p>	<p>Diplôme supérieur du Froid Industriel (DSFI) IFFI-CNAM</p> <p>BTS Froid et Climatisation, CFI des Richardets</p>	<p>Après plusieurs années, en tant que monteur, puis dépanneur d'installation frigorifique et climatiques, Romuald Hunlédé a formé des jeunes apprentis au CFI des Richardets.</p> <p>Après l'obtention de son DSFI en 2004 il est entré à Irstea (anciennement Cemagref), en en tant qu'ingénieur d'étude et d'exploitations en techniques expérimentales. Ses missions principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - gestion de la maintenance du parc d'installation frigorifique (cellules climatiques, et prototypes expérimentaux) - expertise pour collectivité - réalisation d'études sur la réduction de masse de fluide frigorigène 	<p>ASSISTANCE PUBLIQUE DES HOPITEAUX DE PARIS, CHAMBRE DES COMMERCE ET D'INDUSTRIE DE PARIS, CEMAGREF, IRSTEA</p>

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr



ABOUT ADEME

The French Environment and Energy Management Agency (ADEME) is a public agency under the joint authority of the Ministry of Ecology, Sustainable Development and Energy, and the Ministry for Higher Education and Research. The agency is active in the implementation of public policy in the areas of the environment, energy and sustainable development.

ADEME provides expertise and advisory services to businesses, local authorities and communities, government bodies and the public at large, to enable them to establish and consolidate their environmental action. As part of this work the agency helps finance projects, from research to implementation, in the areas of waste management, soil conservation, energy efficiency and renewable energy, air quality and noise abatement.

www.ademe.fr.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr