



FEV.
2017

DETECTION DE FUITE

ETUDE SUR LES MOYENS DE
DETECTION DE FUITE DES
INSTALLATIONS DE REFRIGERATION
DE CLIMATISATION

RAPPORT DIFFUSABLE



En partenariat avec : AFCE



REMERCIEMENTS

Les auteurs de l'étude tiennent à remercier le comité de suivi de l'étude composé de membres de l'AFCE et de l'ADEME, pour ses conseils et la relecture attentive du rapport :

Hélène Rivière (ADEME)
François Heyndrickx (AFCE)
Hervé Réa (Bureau Veritas)
Fabrice Chartrain (JCI)
Olivier Robert (Enertherm)
Chaibia Hanine (ENGIE)
Frédéric Pignard (DAIKIN)
Claude Malley (SNEFCCA)
Eric Martin (JCI)
Eric Devin (Cemafruid)
Emmanuel Laurentin (ENGIE)
François Kloepfer (La Capeb)
Robert Ducros (AFF)

Nous souhaitons également remercier tous les détenteurs, opérateurs, fabricants et organismes agréés qui ont accepté de collaborer à cette étude, soit par la mise à disposition de leur installation pour les tests de terrain, soit par la communication de leur retour d'expérience sur les systèmes de détection de fuites ou de leur expertise sur les contrôles d'étanchéité. Certains souhaitant participer de façon confidentielle, nous avons choisi de ne pas citer nommément les personnes.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr, rubrique Médiathèque (<http://www.ademe.fr/mediatheque>)

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon 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 L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

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

Numéro de contrat :1581C0119

Étude réalisée par ARMINES (Stéphanie BARRAULT, Franck FAYOLLE, Kevin Pinel, Maroun Nemer) et EReIE (Denis CLODIC) pour ce projet cofinancé par l'ADEME et l'AFCE.

Coordination technique - ADEME : RIVIERE-KALUC Hélène
Direction/Service : ANGERS DPED SEET

Coordination technique AFCE : François Heyndrickx – AFCE

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (Art L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (Art L 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du 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 L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.



SOMMAIRE

1 - Enjeux de l'étude	6
2 - Normes et réglementations.....	6
2.1. Réglementations visant à la réduction des fuites de fluides frigorigènes.....	6
2.1.1. Règlement CE 1516 / 2007.....	6
2.1.2. Arrêté du 7 mai 2007.....	7
2.1.3. Arrêté du 29 Février 2016 modifié le 25 Juillet 2016 (dit « arrêté étanchéité »).....	8
2.1.4. Demandes de précisions & questions.....	9
2.2. Normes.....	10
3 - Les méthodes de détection de fluides frigorigènes.....	11
3.1. Structuration.....	11
3.2. Méthodes directes.....	12
3.2.1. Détecteurs mobiles	12
3.2.2. Contrôleurs d'ambiance	14
3.2.3. Autres méthodes	16
3.3. Méthodes indirectes.....	16
4 - Synthèse des entretiens : retour d'expérience et questions.....	18
4.1. Retours d'expérience sur la gestion des fuites.....	18
4.2. Retours sur l'usage des systèmes experts.....	18
4.3. Remarques sur les carnets de suivi.....	20
5. - Essais sur systèmes experts.....	21
5.1. Démarche expérimentale.....	21
5.1.1. Evolution de la démarche.....	21
5.1.2. Procédure d'essais.....	22
5.2. Tests sur les systèmes experts SE1 et SE2.....	23
5.2.1. S _{E1} - Essai 1 – Entrepôt A – Essai court.....	23
5.2.2. S _{E1} – Essai 2 – Entrepôt B – Essai long	25
5.2.3. S _{E1} – Essai 3 – Entrepôt B – Essai court.....	27
5.2.4. Conclusions des essais sur SE1.....	28
5.2.5. SE2– Essai 4 – Hypermarché A – Premier essai	29
5.2.6. SE2– Essai 5 – Hypermarché A	31
5.2.7. S _{E2} – Essai 6 – Essai long- Hypermarché A	32
5.2.8. S _{E2} – Essai 7 – Essai court - Hypermarché A.....	33
5.2.9. Conclusions des essais sur SE2.....	34
5.2.10. Tableau récapitulatif des essais sur systèmes experts.	35
5.3. Essais sur le système de détection intégré à l'équipement de climatisation DRV	36



5.3.1.	Caractéristiques du DRV (Débit de Réfrigérant Variable)	36
5.3.2.	Procédure d'essais.....	36
5.3.3.	Premier essai : Immeuble A – 18 Août 2016	38
5.3.4.	Deuxième essai - Immeuble B - 23 Août 2016	41
5.3.5.	Conclusions.....	45
6 -	Essais sur contrôleurs d'ambiance.....	47
6.1.	Principe des essais.....	47
6.2.	Essais Chillers.....	47
6.2.1.	Description du site et de l'installation.....	47
6.2.2.	Procédure d'essais.....	49
6.2.3.	Tests fuites calibrées sur le groupe isolé.....	50
6.2.4.	Tests sur les groupes du hall plus ventilé	54
6.3.	Test sur contrôleur d'ambiance en hypermarché.....	55
6.4.	Conclusions.....	55
7 –	Le contrôle d'étanchéité : temps et coût.....	56
7.1.	Points importants dans la recherche de fuite d'une installation frigorifique.....	56
7.2.	Evaluation du temps nécessaire à la recherche de fuites.....	57
7.3.	Retours sur le coût d'un contrôle d'étanchéité.....	59
8 –	Conclusions et préconisations.....	60
	Références bibliographiques.....	62
	Annexes.....	63
	Index des tableaux et figures.....	66
	Sigles et acronymes.....	68



Résumé

L'objectif de cette étude est d'expliciter les systèmes et méthodes de détection de fuites de fluides frigorigènes disponibles, de montrer leur adéquation avec les différents types d'installations frigorifiques existantes et, par une étude de terrain, d'évaluer leurs possibilités en termes de niveaux de détection pour différents « types de fuites ».

Plusieurs tests ont été réalisés sur des installations frigorifiques réelles équipées de systèmes de détection de fuites dits « experts », utilisant des méthodes de détection indirectes. Ils montrent que ces systèmes sont capables de repérer des fuites de moins de 100g/h en quelques jours, alors que les pertes sont inférieures à 5 % de la charge nominale de l'installation. Pour des fuites croissantes, à débit de fuite plus élevé, (jusqu'à 130 g/min de débit moyen dans les tests), les premiers tests font apparaître des résultats globalement positifs. Cependant, avec l'un des systèmes experts testés, le temps nécessaire au repérage de la fuite a conduit, dans un cas, à des pertes supérieures à 10 % de la charge. Des tests supplémentaires pourront être réalisés pour vérifier ce résultat.

Des tests ont été menés sur un système de détection non permanent intégré à un équipement DRV (Débit de Réfrigérant Variable). Ils montrent que le système est capable de détecter des pertes de fluide frigorigène supérieures ou égales à 5 % de la charge nominale mais la réalisation du test nécessite une intervention de l'opérateur et le système de détection intégré n'est pas relié à une alarme.

Les essais menés sur les contrôleurs d'ambiance montrent que, pour des installations peu ventilées, si les détecteurs ont une haute précision (<10ppm), ils sont capables, avec un bon réglage du contrôleur d'ambiance et une position adaptée des capteurs, de détecter les fuites de 50g/h et de réduire considérablement les niveaux d'émissions des installations. Il est cependant nécessaire de réaliser des tests pour une bonne implantation des capteurs (à l'aide de fumigènes par exemple), mais surtout, que le détenteur et l'opérateur soient intéressés par la bonne mise en œuvre de l'équipement de détection. En effet, le retour des interviews montre que le contrôleur d'ambiance est le plus souvent installé pour des questions de sécurité et que son utilisation pour la détection de fuites est peu fréquente.

Un parallèle entre les résultats de l'étude expérimentale et les obligations réglementaires est ici établi. Il montre que la capacité d'un système expert à détecter des fuites d'un débit inférieur à 100g/h ne constitue pas la garantie que les fuites d'un niveau supérieur seront, elles aussi, détectées.

Même si des développements sont en cours, les systèmes experts ne sont actuellement utilisables que dans certaines configurations et adaptés essentiellement aux installations centralisées de froid commercial, d'entrepôts et de froid industriel. Les systèmes experts présents sur le marché nécessitent l'évaluation du niveau de fluide frigorigène dans le réservoir et ne sont donc pas adaptés, à l'heure actuelle, aux installations qui en sont dépourvues.

Le contrôleur d'ambiance, bien implanté, peut aussi constituer une bonne aide à la détection de fuites si sa précision et le positionnement des capteurs sont adaptés.

Une première version d'un outil de calcul simple du temps nécessaire à la bonne réalisation d'un contrôle d'étanchéité a été développée. Cette première proposition sera enrichie du retour des opérateurs et évaluée sur le terrain. Une version définitive améliorée sera prochainement mise à la disposition des opérateurs et des détenteurs afin de leur permettre d'estimer, en fonction de la description de leur installation, le temps nécessaire à la réalisation du contrôle d'étanchéité.



1 - Enjeux de l'étude

Dans le contexte de réduction des émissions de fluides frigorigènes, plusieurs réglementations et normes ont été mises en place en France et en Europe. Elles visent à améliorer le confinement, la formation du personnel en charge de la maintenance des installations de froid et de climatisation et à imposer l'installation ou l'utilisation régulière de détecteurs de fuite.

Parallèlement, plusieurs types de détecteurs de fuites, que l'on peut classer parmi les méthodes de mesures directes ou indirectes distinguées par le règlement européen CE 1516/2007, ont été développés par les fabricants. Pour assurer une détection de fuites optimale, il paraît nécessaire de vérifier que les détecteurs de fuite sont adaptés à l'équipement qu'ils contrôlent, qu'ils atteignent en pratique leurs performances théoriques et que l'implantation, le mode d'utilisation, sur site ou adopté par les opérateurs lors du contrôle de fuites, est efficace. La mise en place de recommandations d'utilisation en fonction du secteur et du type de détecteur utilisé pourrait contribuer à l'amélioration du confinement.

Le dernier règlement F-Gas (CE 517/ 2014) impose la réduction progressive ("phasedown") des quantités CO₂ équivalentes de HFC autorisées à être mises sur le marché. Celles-ci étant nécessaires non seulement à la production et la charge des équipements neufs mais aussi à la maintenance du parc existant, la réduction des fuites reste d'actualité et son amélioration pourrait aussi permettre de satisfaire le phasedown plus facilement en réduisant le besoin pour la maintenance des installations.

L'objectif principal de l'étude est de réaliser une analyse détaillée par secteur d'équipements de tous les types et méthodes de détection de fuites afin de pouvoir établir:

- un classement des méthodes par application,
- des préconisations de mise en œuvre des méthodes de détection et d'utilisation des détecteurs,
- une évaluation du temps et du coût des opérations de recherche de fuites.

2 - Normes et réglementations

En France, les réglementations européenne et française s'appliquent. Les obligations liées à la réalisation des contrôles d'étanchéité sont définies :

- D'une part par le règlement CE 1516/2007 ;
- D'autre part par l'arrêté du 29 février 2016 modifié par celui du 25 Juillet 2016.

L'arrêté du 7 Mai 2007 ayant été abrogé, ses dispositions ne sont plus applicables. Cependant, il est intéressant de revenir sur les exigences qu'il contenait afin de comprendre comment le contexte réglementaire a évolué.

Lorsque deux réglementations, française et européenne, existent sur un même sujet, c'est la plus contraignante qui s'applique. Dans certains cas, il est difficile de déterminer laquelle des deux est la plus contraignante, la question doit alors être posée au législateur.

2.1. Réglementations visant à la réduction des fuites de fluides frigorigènes

2.1.1. Règlement CE 1516 / 2007

Le règlement CE 1516/2007 définit les exigences liées aux contrôles d'étanchéité des équipements fixes de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur contenant des HFC et rappelle tout d'abord un certain nombre de points à respecter, de manière générale, pour bien réaliser les contrôles d'étanchéité:

- le personnel certifié (disposant de l'attestation d'aptitude) doit consulter, avant tout contrôle d'étanchéité, les informations contenues dans le registre de l'équipement (carnet d'entretien) afin de pouvoir prendre connaissance et d'être particulièrement attentif aux parties du circuit ayant montré préalablement des dysfonctionnements.

- Les contrôles d'étanchéité doivent cibler les parties de l'équipement les plus susceptibles de connaître des fuites soit ceux qui ont posé problème par le passé et, **systématiquement** les joints, vannes, joints d'étanchéité, les filtres déshydrateurs, les parties soumises à vibrations, les soupapes de sécurité (article 4).



- Concernant les méthodes à utiliser selon les installations, il est indiqué que les méthodes indirectes doivent être privilégiées lorsque la fuite se développe lentement et dans le cas où l'équipement est placé dans un environnement bien aéré (car la détection du gaz dans l'atmosphère devient alors difficile et que la décision revient au personnel certifié à même de choisir la méthode la mieux adaptée à l'installation).

- L'équipement peut être contrôlé par le personnel certifié (disposant de l'attestation d'aptitude) soit par une méthode directe soit par une méthode indirecte. Les méthodes de mesures directes peuvent toujours être appliquées. Les méthodes de mesures indirectes ne sont appliquées que si les paramètres de l'équipement à analyser donnent des informations fiables sur la charge de l'équipement et sur la probabilité de fuite. (Article 5)

- L'article 6 définit les méthodes directes. Elles sont décrites au paragraphe 2.2 de cette étude.

- L'article 7, sur les mesures indirectes, précise que :

- Le personnel certifié (disposant de l'attestation d'aptitude) doit effectuer « un contrôle visuel et manuel de l'équipement ». Dans le contexte de l'article 7, « manuel » signifie par exemple : connecter un capteur de pression, utiliser un multimètre pour mesurer l'ampérage, mesurer avec une balance le « volume » rechargé.
- L'un ou plusieurs des paramètres suivants doit être analysé: pression, température, courant absorbé par le moto-compresseur, niveaux de liquides, volume de la quantité rechargée.
- « Toute présomption de fuite ...est suivie d'un examen de la fuite par une méthode de mesure directe ». Méthode directe veut dire ici méthode de localisation.
- La présomption de fuite est établie par :
 - Un système **fixe** de détection de fuite (c'est-à-dire un dispositif de détection de gaz (méthode directe)
 - Bruits anormaux, puissance frigorifique insuffisante
 - Corrosion, fuite d'huile
 - Indicateurs de niveau
 - Défauts sur les commutateurs (sécurité, pression) et appareils de mesures

- Après une mise en service ou une réparation, un contrôle d'étanchéité doit être réalisé. (Articles 9 et 10).

2.1.2. Arrêté du 7 mai 2007

L'arrêté français du 7 Mai 2007 a été abrogé en mars 2016, il précisait les méthodes de contrôle d'étanchéité en donnant la possibilité d'utiliser un contrôleur d'ambiance.

-« le contrôle d'étanchéité ...est effectué en déplaçant un détecteur manuel en tout point de l'équipement présentant un risque de fuite »

-« l'étanchéité peut être contrôlée par l'utilisation de les contrôleurs d'ambiance multi-sondes reliés à une alarme » (pour un équipement placé dans un espace confiné).

Cet arrêté a introduit une exigence au niveau des seuils de sensibilité des contrôleurs d'ambiance et des détecteurs mobiles, en définissant précisément, par la référence à une norme, la procédure d'essai pour les valider :

-« Les détecteurs utilisés doivent avoir une sensibilité d'au moins 5g/an et les contrôleur d'ambiance de 10 ppm. Les sensibilités sont mesurées par la norme EN 14624 ».

L'arrêté accordait aux équipements de charges supérieures à 30 kg, munis d'un contrôleur d'ambiance, une réduction de moitié de la fréquence des contrôles d'étanchéité (les contrôles passaient d'une fois tous les 3 mois à une fois tous les 6 mois pour les équipements de charge supérieure à 300 kg).



2.1.3. Arrêté du 29 Février 2016 modifié le 25 Juillet 2016 (dit « arrêté étanchéité »)

L'arrêté du 29 février 2016 a été modifié le 25 Juillet 2016. Le texte en résultant est présenté en annexe. Il se réfère au règlement CE 1516/ 2007 mais en diffère sur plusieurs points. Il fixe les périodes maximales entre deux contrôles d'étanchéité, selon la charge de l'équipement, en autorisant leur réalisation **soit par une méthode directe soit par une méthode indirecte.**

- L'arrêté définit les mêmes méthodes directes de localisation que la réglementation européenne : détecteur manuel, eau savonneuse, teinture fluorescente, méthode de chute de pression à l'azote (qui n'est applicable qu'à une installation ou partie d'installation isolée et vide de fluide frigorigène) ;
- Il reprend les mêmes seuils de détection définis par la norme EN 14624-2012 ;
- Il définit les méthodes indirectes comme le règlement européen par la mesure d'un ou plusieurs des paramètres listés : pression, température, courant absorbé par le compresseur, niveaux de liquides, volume de la quantité rechargée **mais ajoute que c'est au moyen d'un dispositif permanent¹ et que ce dispositif est relié à une alarme.**
- Il précise que le **seuil de détection d'un tel dispositif est de 50g/h ou de 10 % de la charge nominale**, seuil qu'il exige à la fois à la conception mais aussi à la mise en service de l'équipement (« *les dispositifs de détection de fuites sont conçus et mis en œuvre de façon à ...* ») **mais ne précise pas suivant quelle méthode ce seuil est validé.** Il indique aussi que ces dispositifs doivent être vérifiés tous les 12 mois sans là aussi préciser suivant quelle méthode.
- Contrairement à la réglementation européenne (article 7), les situations de présomptions de fuite ne sont pas clairement précisées même si le terme de « présomption de fuites » est utilisé une fois, à l'article 3, après la définition d'un dispositif de détection de fuites par mesure indirecte.
- Toute présomption de fuite donne lieu à une méthode de recherche de fuite par méthodes de mesures directes dans des délais définis de 12 à 24h selon la charge.

En résumé l'arrêté du 29 février 2016 modifie le règlement CE 1516/2007 en indiquant que les méthodes indirectes sont des dispositifs permanents générant une alarme, alors que pour le règlement CE 1516/ 2007 c'est le personnel qualifié qui analyse les paramètres et non pas un dispositif permanent. L'arrêté modifié fixe un seuil de détection de 50g/h (ou une détection avant la perte de 10 % de la charge nominale) pour les dispositifs de détection de fuite utilisant une méthode indirecte mais ne précise pas la méthode pour le vérifier alors qu'il existe des normes pour vérifier ceux des détecteurs mobiles et contrôleurs d'ambiance.

L'arrêté du 29 février se distingue de manière significative de l'arrêté du 7 Mai 2007 par la place qu'il accorde parmi les méthodes indirectes aux systèmes permanents (c'est-à-dire fixes) et reliés à une alarme. Ces équipements donnent désormais l'avantage qu'avait le contrôleur d'ambiance (dispositif de détection de gaz fixe) dans l'arrêté du 7 mai 2007 en termes de réduction de la fréquence des contrôles d'étanchéité.

¹ Dans la suite du rapport, un système fixe utilisant une méthode indirecte analysant plusieurs des paramètres listés à l'article 3 sera appelé système expert, comme il l'est expliqué au chapitre suivant.



2.1.4. Demandes de précisions & questions

Toutes les réglementations précédemment citées utilisent un vocabulaire qui peut porter à confusion. Certains équipements permettent de contrôler l'étanchéité d'une installation au sens de « vérifier qu'il n'y a pas de fuite visible » : c'est le cas d'un contrôleur d'ambiance ou d'un système expert (à méthode indirecte). Mais ils ne permettent pas, à eux seuls, de « réaliser un contrôle d'étanchéité » puisque celui-ci nécessite qu'un **opérateur** réalise :

- Un contrôle systématique de tous les composants « à risque » de l'installation (article 5 du règlement CE 1516/2007),
- Une analyse des registres de l'équipement pour connaître les situations problématiques ou fuites récurrentes (article 3),
- Un contrôle visuel et manuel de l'équipement (article 7).

Il semblerait nécessaire de distinguer et définir précisément les termes :

- Qu'est ce que réaliser un contrôle d'étanchéité ?
- Quelle est la liste des équipements permettant de surveiller l'étanchéité d'une installation et d'établir une présomption de fuite ?

Au cours de cette étude, de nombreux entretiens ont été réalisés auprès des détenteurs, opérateurs, organismes agréés. Il en ressort que beaucoup s'interrogent sur les conséquences de l'arrêté étanchéité, qu'ils ne comprennent pas toujours (obligation ? incitation ?), sont en réflexion vis-à-vis de l'équipement qu'ils doivent installer, des évolutions qu'ils doivent envisager concernant les contrats qui les lient aux opérateurs de maintenance. Les questions évoquées sont :

- Qu'est-ce qu'une méthode indirecte ?
- Est-ce que le détecteur de niveau fait partie des méthodes indirectes comme les systèmes experts ? Il répond aux critères de système fixe, qui donne une alarme, et, avec de bons réglages, mon frigoriste peut montrer que l'alarme est donnée pour 10% de pertes de mon installation, donc cela suffit ?
- Sur le système expert, est-ce que le taux de 50g/h sera vérifié sur mon installation ? Par qui ? Comment ?
- Est-ce que le système expert que j'ai installé pourrait ne pas être reconnu, retiré du marché, à cause de cette exigence ?
- Si j'installe un système expert, est-ce que les contrôles d'étanchéité longs et coûteux, ne seront plus obligatoires ?
- Pourquoi n'est-il plus question du contrôleur d'ambiance dans le nouvel arrêté ?
- Mon installation ne permet pas d'installer un système expert, que faire ?
- Quelle est la réglementation la plus contraignante au niveau des contrôles d'étanchéité ?
- Est-ce que les méthodes indirectes listées par l'arrêté français sont désormais les seules utilisables ?

Ces questions soulignent un manque de définition ou de cohérence entre les termes des différentes réglementations française et européenne. Elles montrent aussi que la gestion des fuites est avant tout une gestion des coûts et un compromis entre les obligations réglementaires et les contrats de maintenance détenteur-opérateur. Un **guide d'aide à la lecture** des textes réglementaires français et européen, complété d'un certain nombre de définitions et de précisions, notamment sur le mode de vérification des seuils exigés pour les systèmes experts, serait utile à la bonne interprétation de la réglementation et à la connaissance des obligations de chacun.



2.2. Normes

- **Norme FR EN 378-2016** « système de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d’environnement »

La norme EN 378-2016 dans sa partie 2 « Conception, constructions, essais, marquage et documentation » se réfère pour les tests d’étanchéité des composants à la norme NF EN 16084 « système de réfrigération et pompes à chaleur – qualification des composant et des joints » et pour les composants non couverts requiert un essai à une pression d’au moins $0,25 \times \text{Pression de Service}$ avec un équipement de détection de fluide frigorigène ayant une sensibilité d’au moins 3 g/an. Une annexe informative présente un essai de simulation de fuite pour tous les fluides frigorigènes hors de la classe A1.

La norme EN 378-2016 dans sa partie 3 « installation in situ et protection des personnes » définit les conditions de ventilation pour qu’en cas de fuite la concentration reste toujours inférieure à la concentration limite.

La norme EN 378-2016 dans sa partie 4 « fonctionnement maintenance, réparation et récupération » indique qu’en cas de suspicion de fuite, la fuite doit être localisée avec un équipement de détection approprié et doit être réparée et vérifié conformément aux réglementations nationales. La norme précise que « inspecter pour fuite signifie que l’équipement est principalement examiné pour détecter des fuites à l’aide de méthodes directes ou indirectes de mesurage ». La norme précise que « pour les applications contenant plus de 300 kg de fluide frigorigène, il convient que l’exploitant installe un système de signalisation de fuite.. ; et que ces systèmes soient contrôlés au moins une fois par an ».

- **Norme NF EN 16084-2011** « système de réfrigération et pompes à chaleur – qualification des composant et des joints »

Cette norme définit des essais d’étanchéité de composants et joints dans les conditions suivantes :

- Test à la pression de service sauf pour les dispositifs limiteurs de pression
- Les débits de fuite sont définis en $\text{Pa.m}^3/\text{s}$ d’hélium à 10 bar et 20°C ou air à 10 bar et 20°C et en équivalent g/an d’isobutane avec des valeurs inférieures à des seuils qui dépendent du Diamètre Nominal et si le composant est « fermé » ou « hermétiquement scellé »
- La méthode de test est la mise en place du composant sous pression du gaz traceur dans une enceinte sous vide
- Le calcul du débit de fuite se fait selon la formule donnée dans la norme EN 13 185-2001
- Des essais complémentaires sont effectués en combinant pression, température et vibrations.
- Pour les composants fonctionnant en dessous de 0°C des essais complémentaires après formation de glace sont effectués sur le composant.

- **Norme NF EN 14624 - 2012** « Performances des détecteurs de fuite mobiles et des contrôleurs d’ambiance de fluides halogénés fluorés »

La norme définit d’une part les essais pour les détecteurs portables et pour les contrôleurs d’ambiance.

Les détecteurs portables peuvent être indicateurs (indication sonore par exemple) ou mesureurs, la fréquence d’étalonnage doit être précisée, le seuil de détection inférieur est établi par dix déplacements aller-retour du détecteur devant une fuite calibrée. Un essai complémentaire est effectué pour valider l’auto-calibration de l’appareil dans une ambiance polluée par une forte concentration de fluide frigorigène dans l’ambiance. Un essai vérifie le temps de récupération et de remise à zéro après détection.

Pour les contrôleurs d’ambiance, le seuil de sensibilité est vérifié par la mise en place de chaque sonde du contrôleur dans une chambre d’essais où plusieurs concentrations successives de fluide frigorigène sont générées. Le temps de réponse est déterminé, ainsi que le temps de récupération après exposition à une concentration élevée.

La norme précise le format de présentation des résultats d’essais.

- **Norme ASHRAE 173- 2012** « Method of test to determine the performance of halocarbon refrigerant leak detectors »

Cette norme est homogène à la norme NF EN 14624 mais précise beaucoup plus en détail le mode opératoire et le banc d’essais pour établir les seuils de détection pour des fuites calibrées de débits différents.



3 - Les méthodes de détection de fluides frigorigènes.

3.1. Structuration

Le règlement CE 1516/2007 est la première réglementation à avoir défini les exigences réglementaires liées au contrôle d'étanchéité des équipements du froid et de la climatisation contenant des HFC, précisant en ce sens le règlement (CE) 842/2006. Cette réglementation constitue la base de la structuration des méthodes de détection de fuites de fluides frigorigènes. C'est celle que nous adopterons dans ce rapport. Différentes méthodes sont préconisées pour la détection de fuites de fluides frigorigènes et des précisions sont apportées quant à leur bonne mise en œuvre. Les méthodes sont classées en deux catégories : les méthodes directes et les méthodes indirectes. Par définition, selon le règlement CE 1516/2007 :

- les méthodes directes permettent de "déterminer si la charge s'échappe du système";
- les méthodes indirectes sont fondées sur le constat d'un fonctionnement anormal du système et l'analyse de paramètres particuliers.

Dans son étude bilan de 2009 [4], le CETIM distingue les détecteurs utilisant des méthodes directes par le fait qu'ils permettent de localiser une fuite alors que les méthodes indirectes permettent une quantification globale. En effet, la réglementation (CE) 1516/2007 ne liste pas précisément toutes les méthodes de détection ou types de détecteurs, mais étant donnée la définition générale précisée en début de réglementation et les éléments fournis à l'article 6, il peut être établi que parmi les méthodes directes, il est entendu :

- les dispositifs de détection de gaz permettant de contrôler les circuits: soit détecteurs mobiles ou contrôleurs d'ambiance ;
- les méthodes consistant à l'introduction d'un liquide de détection ultraviolet ou colorant (si autorisation du fabricant) ;
- les solutions moussantes ou eau savonneuse déposées sur le circuit.

Et par méthodes indirectes, il est entendu, selon l'article 7 du règlement CE 1516/2007, un système permettant de repérer un dysfonctionnement du système frigorifique révélant une fuite et basé sur le comportement anormal d'un ou plusieurs des paramètres suivants : pression, température, courant du compresseur, niveaux de liquides, volume de la quantité rechargée. Ce dernier paramètre nous semble être un dysfonctionnement observé au moment de la maintenance, et ne peut constituer le seul élément permettant la détection de fuite.

- Une méthode traditionnellement utilisée par les frigoristes fait partie des méthodes indirectes, c'est celle dite « de niveau bas » dans laquelle la fuite est repérée par l'atteinte d'un niveau anormalement bas de fluide frigorigène dans le réservoir. Cependant, les fuites observées sont alors importantes et l'alerte est généralement donnée alors qu'une grande partie de la charge s'est échappée de l'installation frigorifique.
- D'autres systèmes dits « systèmes experts » ont développé des méthodes indirectes basées sur des principes thermodynamiques et utilisant un grand nombre de mesures de différents paramètres sur l'installation frigorifique (température, pression, niveau du réservoir notamment). Le fonctionnement instantané de l'installation est alors comparé à un fonctionnement de référence et, en cas d'écart prolongé, le système alerte sur l'existence d'une fuite potentielle. Ces systèmes ont été mis sur le marché français relativement récemment et seront détaillés dans la suite de l'étude.



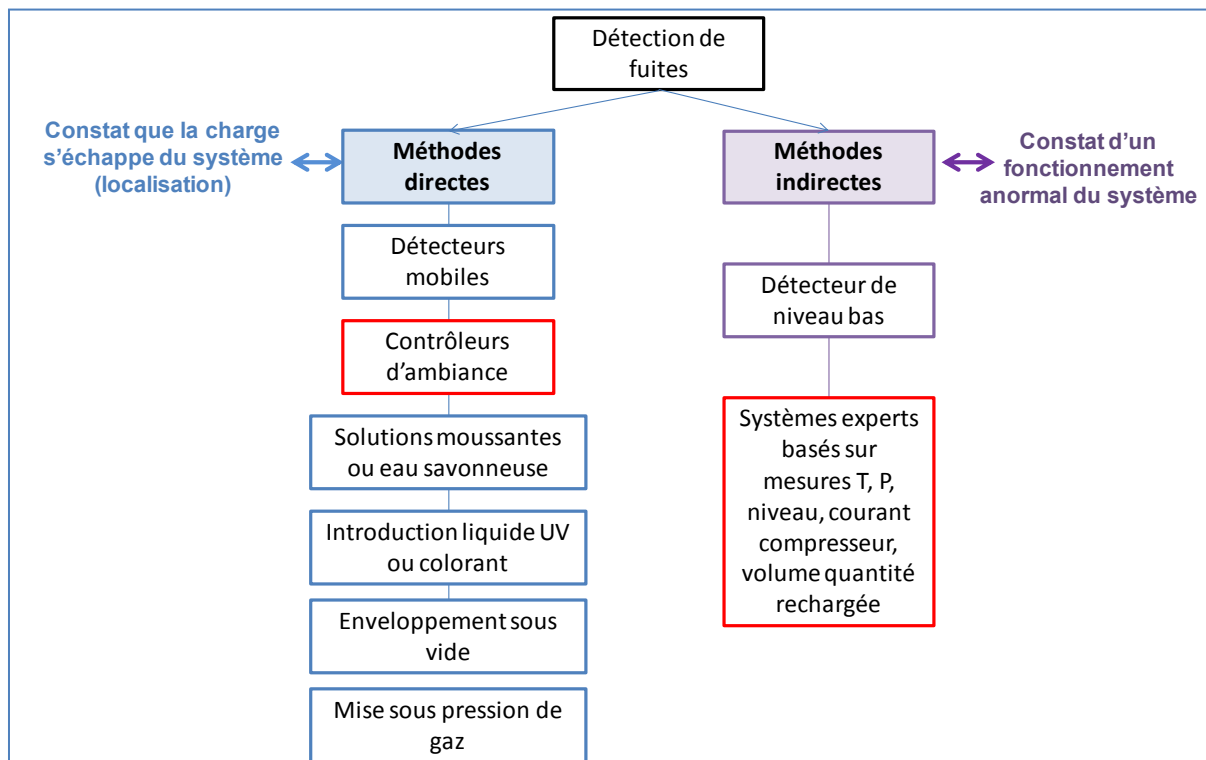


Figure 1 - Structuration des principaux types de détecteurs de fuites de fluides frigorigènes

Dans la suite du rapport, nous conserverons la décomposition issue de la réglementation (Figure 1) et décrirons les différentes technologies existantes par type de détecteur. Cependant, il convient de souligner que la figure 1 représente un classement des détecteurs pouvant utiliser une même technologie.

3.2. Méthodes directes

Les méthodes directes consistent à mesurer la concentration d'un fluide frigorigène dans un volume, d'où le terme de direct indiquant que la méthode mesure directement une concentration de fluide. Plus le volume est réduit et connu plus la concentration en fluide frigorigène est élevée et donc plus la détection est facilitée. Pour la détection deux familles de détecteurs : les détecteurs portables utilisés pour la localisation précise des sites de fuite et les contrôleurs d'ambiance comportant une ou plusieurs sondes disposées dans des sites définis autour de l'installation frigorifique à contrôler ces sondes sont raccordées à un analyseur centralisé qui mesure la concentration du volume contrôlé par la sonde. La norme NF EN 14624 –« Performances des détecteurs de fuite portables et des contrôleurs d'ambiance de fluides frigorigènes halogénés » ainsi que la norme Ashrae 173-2012 « Method of Test to Determine the Performance of Halocarbon Refrigerant Leak Detectors » définissent les conditions d'essais pour qualifier la sensibilité des détecteurs et des contrôleurs d'ambiance pour la norme NF EN 14624 et pour les seuls détecteurs pour la norme Ashrae 173-2012.

A noter que les détecteurs portables seront obligatoirement utilisés pour localiser précisément la fuite et permettre la réparation.

3.2.1. Détecteurs mobiles

Les détecteurs mobiles sont utilisés par les opérateurs pour la recherche de fuites lors des contrôles d'étanchéité. Il s'agit de détecteurs électroniques manuels. Les détecteurs électroniques simples signalent la fuite par un signal sonore au dépassement d'une valeur seuil, alors que les détecteurs dits « mesureurs » ont la possibilité d'évaluer le débit de fuite. Ces détecteurs disposent tous de sondes de « reniflage » c'est-à-dire qu'un petit ventilateur aspire l'air autour d'un site où la fuite est recherchée, permettant de repérer le site de fuite de fluide frigorigène. Plusieurs technologies de mesures peuvent être utilisées :



➤ L'effet Corona

Lorsqu'un gaz est soumis à un champ électrique, il forme un nuage d'électrons que la présence d'un autre gaz modifie. Cette ionisation provoque une lumière diffuse et un crépitement par lesquelles on repère la présence de fluide frigorigène.

➤ Les ultrasons

Cette technologie était identifiée comme peu performante dans les études des années 2000.

➤ La diode chaude ou diode platine

La méthode consiste à ioniser les atomes de fluor par la diode et à collecter les molécules ionisées sur une anode collectrice. Cette méthode permet une quantification du débit de fuite Cette méthode n'est pas adaptée aux fluides inflammables. Les niveaux de sensibilité des détecteurs sont de l'ordre de 1 à 5 g/an.

➤ La spectrophotométrie Infra Rouge

Le principe est que l'énergie infrarouge filtrée est modifiée par la présence de fluide frigorigène dans la cellule d'échantillonnage, ce qui déclenche l'alarme de l'appareil. Cette technologie est très utilisée dans les matériels haut de gamme car elle permet notamment de détecter la présence de traces de gaz très diluées dans l'air. Son coût est assez élevé mais c'est la technologie la plus performante, qui est également utilisée pour les contrôleurs d'ambiance.

➤ La spectrométrie de masse

La spectrométrie de masse est essentiellement utilisée avec de l'hélium même si sur le principe, d'autres gaz traceurs peuvent être utilisés. Cette méthode est basée sur la mise sous vide de l'équipement ou plus souvent du composant à tester et mesure de manière très précise le flux de gaz traceur. Cette méthode est utilisée en usine pour la qualification de composant.

Le Tableau 1 présente les caractéristiques techniques des principaux détecteurs de fuite mobiles présents sur le marché français. Elles sont extraites des fiches techniques fabricants.

Contrairement aux résultats des études des années 2000, les seuils de sensibilité des détecteurs mobiles sont désormais assez proches. C'est lié à l'arrêté du 7 Mai 2007 qui fixe ce seuil à 5 g/an. Dans le tableau ci-dessus, la ligne « particularités » permet de mentionner des retours d'expérience d'opérateurs.

Remarque : La sensibilité varie en fonction de la charge de la batterie ou des piles installées dans le détecteur portable. Les valeurs déclinent lorsque la batterie se décharge.

Comme le rappelle l'étude Cemafruid-Irstea [9], le détecteur de fuites électronique, qu'il s'agisse de la technologie Corona, Diode platine ou Infra-Rouge, est l'équipement de détection le plus utilisé. Il est important qu'il réponde aux critères de sensibilité et d'étalonnage imposés par la législation et les normes associées d'une part, et soit correctement entretenu d'autre part.



Tableau 1 – Comparaisons des technologies de détecteurs mobiles

PARAMETRE	C2AI	CPS	KIMO	Sensit	Bacharach	SAPRE	Inficon	TIF	Inficon	Testo	Teddington
Marque	CFC110/CF111	LDA 1000H	DF 110	RLD-2	Tru Pointe IR	HFC 92	D-TEK Select	ZX1	TEK MATE	316-4	TF DDF V2
Modèle	Portable	Portable	Portable	Portable	Portable	Portable	Portable	Portable	Portable	Portable	Portable
Type	Portable	Portable	Portable	Portable	Portable	Portable	Portable	Portable	Portable	Portable	Portable
Gaz	HCFC,HFC	CFC HCFC HFC HFO	HCFC, HFC, CFC, HFO, H2, Hydrocarbure	HCFC, HFC, CFC, NH3	CFC HCFC HFC HFO	CFC, HFC, HCFC, He, H2, Ar, CO2, SF6, CH4, O2, N2	CFC HCFC HFC HFO	CFC HCFC HFC	CFC HCFC HFC HFO	HCFC, HFC, CFC, NH3	CFC HCFC HFC
Technologie	diode chauffée	E_MOS™ technology	Semi-conducteur/ diode chauffée	-	Infrarouge	Ionisation	Infrarouge	diode chauffée	diode chauffée	diode chauffée	diode chauffée
Modes de sensibilité	3	2	3	-	3	2		2	2		
Affichage	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Seuil de sensibilité Max fixe (g/an)	>50										
Seuil de sensibilité Min fixe (g/an)	1	3	1	3	4 à 15	0,3	3	<3	7	3	3
Seuil de sensibilité Max en mvt (g/an)	>50		2								
Seuil de sensibilité Min en mvt (g/an)	3					3					
Temps de détection (1g/an)	1	<10	1	1	<1	1				1	
Préchauffage (s)	20 s				30	60		20		50	
Poids (g)	680	500	295	590	442	350	539	452	700	348	200
Longueur flexible (cm)	47	38	30	40	39,4		38	26	38	37	
Particularités	Système de diode qui permet d'évaluer la taille de la fuite (de 2 à 15g/h)	3 niveaux de sensibilité de 4 à 14g/an 8 LED permettant d'évaluer la taille de la fuite	3 niveaux de sensibilité 0 à 300g/an, 0 à 30g/an, 0 à 3g/an	Détecte l'ammoniac	Alarme vibrante Niveau de sensibilité 4 à 15 g/an	Architecture différente, portée plus longue.					Premier prix
Norme	EN 14624:2012	EN 14624:2012	EN 14624:2012	EN 14624:2012		EN 14624:2012	EN 14624:2012	Norme américaine	EN 14624:2012	EN 14624:2012	

3.2.2. Contrôleurs d'ambiance

Les contrôleurs d'ambiance font partie des systèmes de détection directe : ils repèrent les fuites de fluides frigorigènes en fonction de mesure de concentration du fluide frigorigène dans l'air ambiant. Equipés de plusieurs sondes et de plusieurs voies, ces systèmes permettent de localiser la fuite. Par ailleurs, parmi les méthodes directes, ils constituent le seul type de détecteur fixe, permettant de surveiller l'installation en continu.

Plusieurs technologies sont communes aux détecteurs mobiles et aux contrôleurs d'ambiance :

- L'effet Corona
- La spectrophotométrie Infra Rouge
- La spectrométrie

La technologie effet Corona n'est quasiment plus utilisée, peu performante pour les contrôleurs d'ambiance. Parmi les autres technologies utilisées par les contrôleurs d'ambiance présents sur le marché, sont à noter :

- les semi-conducteurs

Cette technologie n'est plus utilisée aux USA car elle n'a pas une bonne tenue dans le temps et dans la pratique, les capteurs se révèlent trop sensibles aux courants d'air, changements de température, présence de solvants et n'assurent pas une bonne détection des fluides frigorigènes (source : MSA) ;

- La photo-acoustique IR

La technologie photo-acoustique IR est essentiellement IR avec un mode d'amplification de la pression acoustique qui donne une grande sensibilité.

Le Tableau 2 présente les caractéristiques des principaux contrôleurs d'ambiance présents sur le parc français selon les organismes agréés interrogés.



Tableau 2 – Caractéristiques techniques des principaux contrôleurs d'ambiance présents sur le marché français

Marque	MSA	BACHARACH/ MURCO	BACHARACH	GAZDETECT	GAZDETECT	JOHNSON CONTROLS	MURCO	MURCO
Nom	Chillgard RT	HGM-MZ	MG5-250 IR	IR148	OLCT100	Serie G	MGD/MGD100	IAM/IAM100
Technologie	Photo- acoustique IR	Spectromètre IR	Spectromètre IR	Infra-rouge			semi- conducteur (IR pour CO2)	semi-conducteur
Type : mesureur ou indicateur	Mesureur	Mesureur	Indicateur	Mesureur	Indicateur	Mesureur	Indicateur	Indicateur
Type de gaz détecté	CFC HCFC HFC HFO	CFC HCFC HFC HFO	CFC HCFC HFC HFO	CFC HCFC HFC HFO Hydrocarbures	Explosif	CFC HCFC HFC HFO CO2 Hydrocarbures	CFC HCFC HFC HFO CO2 Hydrocarbures	CFC HCFC HFC HFO CO2 Hydrocarbures
Nombre de voies de mesures	8 à 16	4 à 16		1, 4 ou 8		1	1, 2, 4 ou 6	Cumulable
Seuil sensibilité mini (ppm)	1	1	3	2	0	3	10	10
Seuil sensibilité maxi (ppm)	1000	1000	3500	-	2000	<10	10000*	
Precision (ppm)				100				
Linéarité (pmm)				100				
Résolution (ppm)				1				
Reproductibilité				2				
Débit échantillonnage (l/min)				1,5				
Distance (m)				45		40	40	
Temps de chauffe initial (mn)	20							
Temps de réponse (s)	3		300	7				
Durée de vie mini de la cellule (an)	5							
Durée de vie potentielle de la cellule (an)	10		5					
Fréquence étalonnage recommandé (an)	1			1				
Sortie : numérique	RS485	Modbus RTU RS485	Modbus RTU RS485	RS23C RS422 R485	LAN63/64			
Sortie : analogique	4-20 mA et 0-10Vcc	4 / 20 mA	4-20 mA 0-10V 2-10V 1-5V	4 / 20 mA	4 / 20 mA	12V / 100ma		
Sorties relai : nombre	3	4	1	3	3	3	2	2
Marquage CE	Oui	Oui	Non	Oui		Oui	Oui	
Conformité EN	EN 14624	EN 61010-1 EN 61326 EN 14624		EN 55011 EN 50082-2 EN 6100-4-2		EN 50081-1 EN61000-6-3, EN 50082-2 EN 61000-6-2 EN 14624 EN 378	EN 14624 EN 378	
Certifications ASHRAE	147 ; 15							
Autre			ISO9001					
	10000*	Reglage usine 100						

On vérifie que ces contrôleurs d'ambiance disposent d'une bonne sensibilité, que quatre sont conformes à la norme EN 14624 qui valide par mesures ces sensibilités. On note aussi que la plupart des contrôleurs sont basés sur la technologie infrarouge.

Plusieurs préconisations sont précisées dans la réglementation, elles ont été récapitulées dans le rapport bilan du Cetim en 2009 [4] et sont rappelées ici :

- Les détecteurs d'ambiance doivent être positionnés au plus près des composants présentant des risques potentiels de fuite,
- Pour être fonctionnels, les contrôleurs d'ambiance doivent être mis en place en tenant compte des préconisations des constructeurs, soit généralement : dans des locaux confinés, au plus près des sources de fuites possibles, à un emplacement à l'abri des courants d'air, éloignés des ventilateurs et des sources de chaleurs
- Les sondes du contrôleur d'ambiance doivent être installées « aux points d'accumulation potentiels du fluide dans le local où se trouve l'équipement, et, le cas échéant, dans la gaine de ventilation. »
- Une sonde est toujours installée dans la gaine d'extraction d'air en salle des machines (quand une telle ventilation existe) et permet de gérer une supervision globale de la salle des machines complémentirement aux sondes disposées près des sites potentiellement fuyards.



Le Cetim recommande de réaliser, avant l'installation du contrôleur d'ambiance, un état de l'installation en termes de composants ayant été à l'origine de fuites afin de placer les sondes proches de ces composants. En effet, l'étude de l'historique des fuites est une piste intéressante pour identifier les composants les plus à risque. Comme le montrent les carnets de suivi des installations, il n'est pas rare de retrouver plusieurs fois les mêmes causes de fuite pour une installation donnée. Le Cetim souligne également l'importance de la hauteur à laquelle doit être placée la sonde en fonction du type de gaz à détecter, la plupart des fluides frigorigènes étant plus lourds que l'air, les parties basses autour des machines frigorifiques doivent être surveillées.

Les essais sur site confirmeront ces préconisations et proposeront quelques pistes supplémentaires pour une bonne utilisation des contrôleurs d'ambiance.

Si les contrôleurs d'ambiance sont principalement adaptés aux installations peu ventilées, il apparaît cependant que certains des modèles récemment développés ont une précision suffisante pour permettre, dans certaines conditions, d'être utilisés en extérieur, sur les condenseurs ou les rooftops [11].

3.2.3. Autres méthodes

Il s'agit ici de techniques pouvant être utilisées ponctuellement par les opérateurs sur certains cas de recherche de fuites.

➤ **Produit moussant**

L'application d'un produit moussant ou d'une eau savonneuse sur des surfaces ou composants à contrôler permet de localiser l'endroit de la fuite (apparition de bulles). La détection doit être ensuite confirmée/ mesurée par un détecteur mobile. Cette technique permet une détection de l'ordre de 20 g/an, dépendant de la pression interne de référence [10]. Elle ne répond pas aux exigences réglementaires mais permet une première approche.

➤ **Fluide fluorescent**

La méthode consiste à injecter un traceur fluorescent compatible dans le circuit frigorifique. La détection visuelle se fait à l'aide d'une lampe UV adaptée. Il apparaît alors des points fluorescents jaune-vert à l'endroit des fuites.

Cette méthode n'est utilisée qu'en climatisation automobile, les fabricants de compresseurs ayant refusé de valider son utilisation dans les équipements de froid et de climatisation fixe. Cette méthode est adaptée aux circuits confinés, peu accessibles et peu lumineux mais elle ne permet pas de quantifier la fuite. Elle peut être utilisée pour tous les fluides frigorigènes. Sa sensibilité minimale est de l'ordre de 7 g/ an.

➤ **La méthode d'enveloppement**

Cette méthode consiste à isoler une partie du circuit frigorifique pour augmenter la concentration de fluide frigorigène dans la zone.

➤ **La méthode de mise sous pression de gaz (azote, hélium).**

3.3. Méthodes indirectes

Parmi les méthodes indirectes, figure la méthode dite « de niveau bas » dans laquelle la fuite est repérée par l'atteinte d'un niveau anormalement bas de fluide frigorigène dans le réservoir. Cette technique est insuffisante puisqu'elle conduit à des pertes de fluides pouvant être supérieures à la moitié de la charge des installations. De plus, dans certains cas, elle ne constitue pas une indication de fuite : en cas d'installation sous-charge, une demande ponctuelle de froid très forte liée par exemple au changement d'huile de compresseurs



ou à la suite d'un arrêt pour nettoyage des meubles frigorifiques de vente, peut conduire à un niveau dans le réservoir en deçà du seuil de niveau bas.

Nous nous intéresserons dans la suite du rapport aux méthodes dites intelligentes ou « systèmes experts », basés sur la mesure de **plusieurs** paramètres et dont l'analyse permet de détecter une fuite par un comportement anormal du système.

La plupart des méthodes indirectes disponibles sur le marché associent à la mesure de niveau au réservoir haute pression une analyse basée sur la variation de la demande de froid et la prise en compte des conditions de pression et température du fluide frigorigène dans le réservoir. Selon les systèmes commercialisés, les mesures incluent les mesures des pressions d'évaporation et de condensation, la puissance absorbée du moteur électrique, certaines températures.

Dans cette version diffusable du rapport, **il a été choisi de ne pas citer les modèles** commerciaux présents sur le marché français qui seront testés lors de l'étude de terrain. Leur approche est différente: l'une est basée sur une méthode d'apprentissage; l'autre sur une modélisation thermodynamique du système.

Dans la suite de l'étude, l'attention sera portée à deux types d'équipements : les contrôleurs d'ambiance pour les méthodes directes, les systèmes experts pour les méthodes indirectes car l'objectif principal de l'étude est de montrer l'adéquation des systèmes de détection disponibles sur le marché avec les différents types d'installations. Les méthodes utilisables par les opérateurs dans le cadre d'une recherche de fuites sur le terrain ne seront donc pas davantage étudiées. Les détecteurs mobiles sont également, à la demande de l'AFCE, exclus du cadre de l'étude, plusieurs études y ayant été préalablement dédiées.



4 - Synthèse des entretiens : retour d'expérience et questions.

Une vingtaine d'entretiens avec des détenteurs d'installations, opérateurs, organismes agréés ont permis d'obtenir des éléments, complétant les essais sur site, sur l'utilisation et la performance de différents types d'équipements de détection de fuites de fluides frigorigènes.

Ces échanges ont également été l'occasion de nous rendre compte des questions que les détenteurs et opérateurs se posaient vis-à-vis des évolutions réglementaires : comment interpréter les différentes réglementations ? Est-ce que les systèmes de détection récemment installés pourraient devenir obsolètes si la réglementation évolue ? Les questions ont été détaillées en partie 2, à la suite de l'analyse de la réglementation.

On se rend compte également que certains détenteurs souhaitent être en règle avec la réglementation plus qu'ils ne sont réellement préoccupés par la gestion des fuites : leur préoccupation est davantage de satisfaire aux obligations réglementaires au moindre coût plutôt que réduire leur impact sur l'environnement. Cela ressort d'ailleurs des visites : si les contrôleurs d'ambiance sont toujours présents sur les installations, il n'y a pas nécessairement de réflexion autour de leur intérêt vis-à-vis de la gestion des fuites, ils ne sont pas utilisés par les opérateurs de maintenance, qui n'ont généralement pas connaissance de leurs capacités ni de leur précision.

4.1. Retours d'expérience sur la gestion des fuites

Plusieurs opérateurs soulignent des problèmes d'étanchéité récurrents sur des installations neuves, le plus souvent au niveau des « accessoires » et meubles dans la grande distribution. Les opérateurs préconisent un contrôle d'étanchéité complet par l'opérateur qui assure la maintenance afin de vérifier l'étanchéité de l'installation neuve.

En froid commercial, les retours sont unanimes : les contrôleurs d'ambiance ne sont utilisés que pour des questions de sécurité. Leur implantation n'a pas été étudiée et ils ne servent au repérage des fuites qu'en cas de rupture où ils permettent l'enclenchement automatique de l'extraction des gaz. Les opérateurs soulignent une nouvelle fois la question du coût : les détenteurs qui souhaitent seulement satisfaire l'obligation réglementaire vont choisir un contrôleur d'ambiance premier prix, même si l'opérateur propose un modèle multi-sondes performant pour la salle des machines. L'écart de prix est considérable (facteur 10 minimum).

Avant l'introduction des premiers systèmes experts, afin de repérer plus facilement les fuites, la plupart des installations étaient sous-chargées (95 % selon plusieurs sources) afin de provoquer facilement une alarme de niveau bas. C'est encore une pratique très courante.

Les quelques retours sur les détecteurs mobiles montrent qu'il existe de grandes différences de gamme, facilement repérables à l'usage. Les opérateurs tendent à privilégier la fiabilité à la robustesse car le détecteur mobile de qualité est indispensable à leur métier. Pour s'assurer de son bon fonctionnement, avant usage, certains proposent de le tester à l'aide d'une fuite calibrée de R-134a (5g/an).

4.2. Retours sur l'usage des systèmes experts

Le retour d'expérience des utilisateurs de systèmes experts est globalement très positif : les systèmes experts permettent, notamment la première année, de détecter des fuites et de réduire les taux d'émissions d'installations.

Une chaîne d'entrepôts a réalisé sur 6 mois un suivi des alarmes sur son entrepôt de Nice avant de faire le choix d'installer le système expert SE1² sur toute la France. Le retour d'expérience est très positif. Selon le responsable technique, depuis 1 an et un déploiement sur 200 entrepôts, aucune alarme donnée par le SE1 n'a été inutile : à chaque fois l'opérateur a trouvé l'existence d'une fuite. Les systèmes experts permettent la

² La notation adoptée au chapitre 5 est utilisée ici pour des raisons de confidentialité.



surveillance des installations 24h/24 et une alarme étant envoyée au frigoriste indiquant le niveau de la fuite, ce dernier peut intervenir très rapidement, limitant ainsi les émissions de fluides frigorigènes.

Dans le cas du SE2, sa mise en place a également permis de réduire les fuites des installations. Un détenteur observe, sur un parc de 96 hypermarchés équipés du SE2, une amélioration de 40 % des consommations de R-404A entre 2015 et 2016. Cependant, certains opérateurs font part d'alarmes qu'ils jugent intempestives, pour lesquelles le déplacement du frigoriste n'a pas permis de trouver une fuite et de la réparer. Il est difficile de déterminer si l'écart vient du système qui donne des alarmes intempestives, du frigoriste, qui n'a pas pris le temps nécessaire, ou de la fuite qui était particulièrement difficile à trouver. Cependant, ce retour n'a été fait que sur l'un des deux systèmes experts.

Un inconvénient lié au fonctionnement des systèmes experts est signalé : en présence d'une fuite, s'il y a recharge de l'installation, le ré-apprentissage du système expert doit être enclenché. Durant ce temps, l'installation frigorifique est sans surveillance. Un opérateur souligne que la période d'apprentissage peut être détournée par l'opérateur pour retarder la recherche de fuites. En effet, le système expert devenant inactif, il devient impossible de vérifier, pendant plusieurs jours, que la recherche de fuites et la réparation ont été faites au moment de l'acquittement de l'alarme. L'acquittement de l'alarme peut être fait sans nécessairement réaliser une recherche de fuites immédiate, contrairement à la réglementation.

Un opérateur nous fait part d'un usage intéressant des courbes de suivi du niveau de liquide dans le réservoir lisibles sur l'écran du système expert. Il les utilise pour vérifier que la fuite qu'il a trouvé à la suite d'une alarme et que la réparation qu'il a faite sont les seules causes de l'alarme. Au lieu de procéder au réapprentissage, il se donne un jour pour continuer d'observer les courbes de niveau : si la tendance se corrige, la fuite était la bonne et il retourne enclencher le réapprentissage, dans le cas inverse, il poursuit sa recherche de fuites et évite de perdre le temps du réapprentissage pour trouver la fuite.

Un détenteur et un opérateur ont signalé une situation de mise en service du système SE1 sur une de leurs installations où le déclenchement d'une alarme dans l'heure suivant son installation avait bien permis de détecter une fuite sur une installation. Il semble donc que le système SE1 soit rapidement efficace.

Il convient de souligner que le contrat qui lie le détenteur et l'opérateur peut plus ou moins inciter l'opérateur à passer le temps nécessaire sur la recherche de fuite (à qui est la charge du fluide ?). De même, la gestion du système expert peut être faite directement par l'opérateur ou par le détenteur : si elle est faite par le détenteur, il doit demander à l'opérateur de se déplacer en cas d'alarme et, selon le contrat qui le lie à l'opérateur, si chaque déplacement de celui-ci est un surcoût, il va moins facilement demander à l'opérateur d'intervenir sur l'installation, surtout s'il a un doute sur la véracité de l'alarme.

Plusieurs opérateurs expliquent que la mise en place d'un système expert est souvent l'occasion d'une révision du contrat de maintenance dans laquelle les détenteurs demandent à « sortir » le fluide frigorigène du contrat. En effet, jusqu'à présent, la plupart des contrats de maintenance mettaient le fluide à la charge de l'opérateur. Cette modification semble satisfaisante à la fois le détenteur et l'opérateur, car le fluide reste la partie la plus coûteuse dans la maintenance des installations, comparativement à la main d'œuvre et aux déplacements. La mise en place de systèmes experts génère, surtout la première année, plus de déplacements et recherche de fuites pour l'opérateur. Selon les contrats, les déplacements sont inclus ou non.

Dans les cas où la charge du fluide revient à l'opérateur, ce dernier a tendance à sous charger l'installation pour pouvoir être alerté plus rapidement par l'alarme de niveau bas. Cette pratique peut causer problème si elle conduit à un fonctionnement de l'installation avec un réservoir vide. Une perte de l'efficacité énergétique peut être à déplorer et des dysfonctionnements peuvent se produire au niveau de certains composants, notamment les détenteurs.



4.3. Remarques sur les carnets de suivi

Les carnets d'entretien ne sont que rarement disponibles en salle des machines et les informations sur le suivi des consommations et causes de fuites sont souvent difficiles à retracer.

Sur certaines installations, des retours consolidés de suivi des consommations de fluides frigorigènes ont été obtenus. L'impact de l'utilisation d'un système expert sur celles-ci est difficile à montrer car, le plus souvent, son installation est récente (Figure 2) mais aussi, on observe de fortes variations de la consommation de fluides pour la maintenance, indépendamment de la mise en place du système expert. Il faudrait une période d'analyse plus longue pour pouvoir réellement juger de l'impact de l'installation d'un système expert sur les émissions de fluide frigorigène.

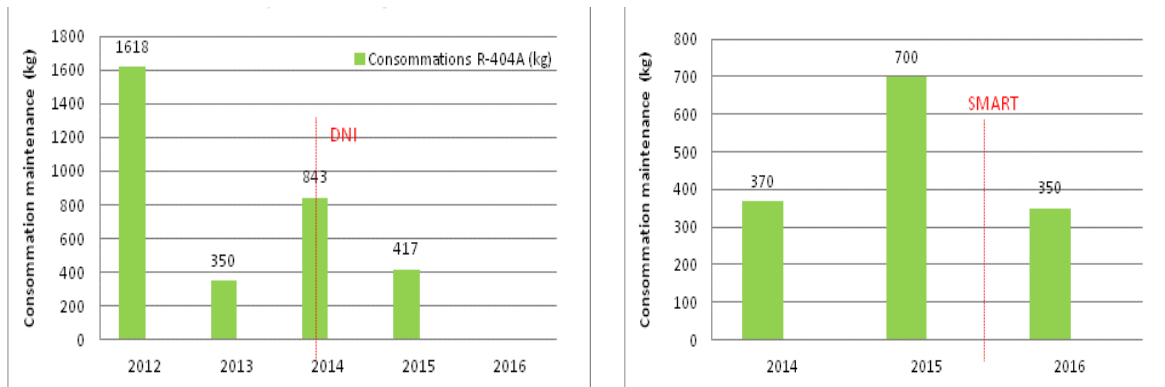


Figure 2 – Impact de l'installation d'un système expert sur le suivi des consommations annuelles pour la maintenance - exemples



5. - Essais sur systèmes experts

L'objectif des essais sur sites est de donner, pour des situations réelles de fonctionnement, des ordres de grandeur sur le niveau de fuites que les systèmes experts sont capables de repérer en termes de débit de fuites et de quantités de fluides frigorigènes perdues. Il ne s'agit donc pas ici d'essais normalisés pour la validation d'une technologie mais seulement d'éprouver les systèmes experts équipant des installations frigorifiques en fonctionnement réel lors de la simulation de fuites de fluides frigorigènes, par l'extraction du fluide frigorigène vers une capacité tampon³.

Les deux systèmes experts identifiés sur le marché français ont été testés sur site. Ils ne seront pas cités nommément dans la partie concernant les résultats d'essais et désignés par S_{E1} et S_{E2} .

De même, les sites ayant participé à l'étude ne seront pas cités nommément : il s'agit d'installations de froid commercial d'hypermarchés et d'entrepôts agroalimentaires. Elles seront notées HyperA, HyperB, Entrepôt A, Entrepôt B, etc. Certains essais ont été faits sur le même site mais dans des installations (centrales) et des conditions différentes afin d'évaluer les performances des systèmes experts dans différentes configurations de fuites.

Dans la plupart des cas, les détenteurs d'installation ont demandé à ce que le fabricant du système expert soit présent sur site lors de notre intervention. Dans certains cas, ils ont également demandé à ce que l'opération de soutirage soit réalisée par l'opérateur en charge de la maintenance de l'installation.

5.1. Démarche expérimentale

5.1.1. Evolution de la démarche

La première option envisagée a été d'extraire ponctuellement une quantité déterminée de fluide frigorigène afin de vérifier que le système expert détecte la perte et signale une fuite. Le temps prévu pour l'opération et la détection était d'une demi-journée. Cependant, un des fabricants a souligné que le système expert pourrait interpréter cette opération comme un soutirage lié à une maintenance et qu'il ne s'agissait pas d'une fuite « réaliste ». Après interview de plusieurs opérateurs, il semble que la définition d'une fuite réaliste soit difficile à préciser cependant, il a été choisi de mener les tests sur une plus longue durée et de s'orienter sur deux types de simulations de fuites :

- 1) Une **fuite lente** approchant le débit de fuite évoqué dans le dernier arrêté réglementaire (50g/h) ; il a été nécessaire d'envisager ce type d'essais sur plusieurs jours afin de donner au système expert le temps de repérer la fuite.
- 2) Une **fuite croissante** plus rapide, sur un jour, de débit progressif supérieur à 10g/min, simulant un début de défaut d'étanchéité grossissant progressivement.

En effet, bien que la réglementation fasse apparaître un seuil de niveau de fuite que le système expert doit être capable de repérer, **rien ne prouve qu'un système pouvant repérer une fuite de faible débit est nécessairement capable de repérer une fuite de plus fort débit**. Il est donc intéressant d'éprouver les systèmes experts sur deux types de fuite et de constater les pertes en jeu.

- L'objectif de chaque essai a été de déterminer au bout de combien de temps le système expert était capable de repérer une fuite et pour quelle quantité de fluide frigorigène perdue.

³ Remarque complémentaire : ces essais ne constituent pas une validation tierce partie d'allégations de performance.

Un des outils existants pour réaliser une validation tierce partie d'allégations de performance est le dispositif ETV (Environmental Technology Verification) : www.verification-etv.fr.



Les tests ont été réalisés sur des installations frigorifiques équipées depuis un an ou deux de systèmes experts, proposées par des entreprises qui ont accepté d'être partenaires de l'étude. Les premiers tests montrant qu'il fallait intervenir plusieurs fois sur l'installation pour maintenir le débit de soutirage, les installations faciles d'accès ont été privilégiées d'autant plus qu'il était possible d'intervenir sur différents circuits et systèmes experts (cas d'installations multi-centrales).

5.1.2. Procédure d'essais

Une bouteille de transfert préalablement pré-remplie à la pression de saturation du fluide est reliée au circuit frigorifique de l'installation par un flexible de récupération (Figure 3) et une vanne micrométrique. Dans la mesure du possible, on se place sur un point de piquage facile d'accès, prévu pour la maintenance des installations.

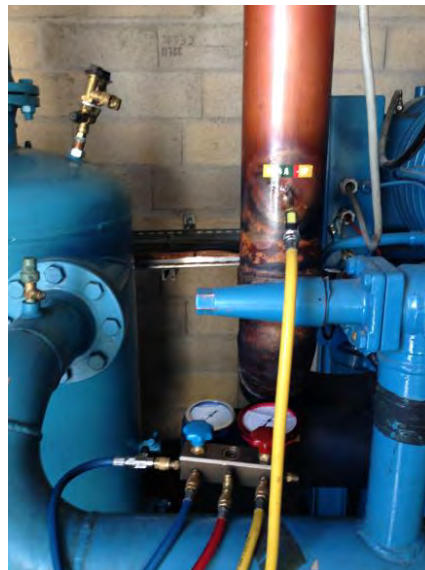


Figure 3 – Point de piquage

L'ensemble est placé sur une balance précise au gramme près afin d'ajuster le débit massique de soutirage et de mesurer les quantités de fluide frigorigène récupérées au cours de l'essai. Lors de certains essais, afin de maintenir un écart de pression relativement constant et d'assurer une régularité du débit de soutirage, la bouteille a été placée dans un bac d'eau régulée en température (Figure 4).

En début d'essai la bouteille de transfert est pesée. Une fois reliée au circuit frigorifique, la tare est faite et les quantités de fluides frigorigènes récupérées sont relevées périodiquement ou enregistrées.

Si l'alarme du système expert se déclenche au cours de l'essai, le soutirage est arrêté et le temps est noté. Le pesage de la bouteille permet de quantifier précisément la quantité de fluide frigorigène récupérée au moment du repérage de la fuite par le système expert.

Dans le cas où l'essai devait être réalisé en temps limité, il est arrivé que l'essai soit arrêté avant le déclenchement de l'alarme. Dans ce cas la masse finale est notée et il est observé à distance si le système expert réagit dans les deux jours suivants.

Il convient de souligner que les tests ont montré qu'il était difficile avec le matériel utilisé, de maintenir un débit de soutirage constant de quelques grammes par minute lors des essais longs. Comme mentionné ci-dessus, afin de réduire les variations liées à l'équilibrage des pressions entre la bouteille et le circuit, la bouteille de transfert a été partiellement remplie afin d'être à pression de saturation. Elle a également été placée dans un bac d'eau maintenue à température de 10 °C. Cependant ces précautions n'ont pas suffi à maintenir un débit de soutirage constant sur plusieurs jours et des ajustements réguliers à l'aide de la vanne micrométrique ont, la plupart du temps été nécessaires. Par ailleurs, lors du démontage, une forte présence



d'huile a pu être observée dans le flexible de récupération dans certains cas, expliquant le réglage particulièrement difficile du débit de soutirage.

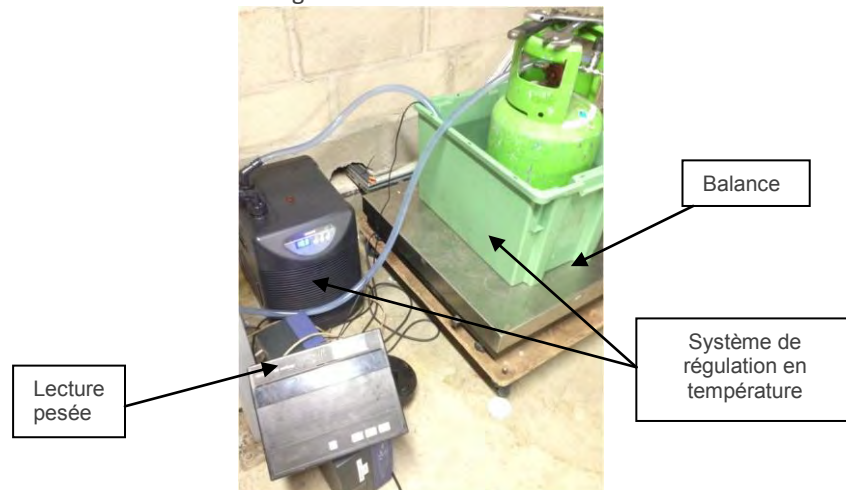


Figure 4 – Bouteille récupération sur balance avec système de régulation en température.

La partie suivante présente les résultats d'essais sur différentes installations frigorifiques équipées de l'un ou l'autre des systèmes experts. Dans les tableaux de résultats, afin de ne pas différencier les systèmes, il sera utilisé un vocabulaire commun pour décrire l'alarme donnée par le système expert :

- Type d'alarme : de « niveau bas » lorsqu'elle est déclenchée à cause d'un niveau bas atteint dans le réservoir ou « experte » lorsqu'elle est basée sur l'analyse des autres paramètres mesurés.
- Niveau d'alarme : orange si le système expert considère que l'alarme concerne une fuite faible à moyenne ;

5.2. Tests sur les systèmes experts SE1 et SE2

5.2.1. SE1 - Essai 1 – Entrepôt A – Essai court

Description de l'installation

L'entrepôt A est composé de deux surfaces de vente et de deux salles des machines. Nous sommes intervenus sur l'installation frigorifique de la salle des machines du rez-de-chaussée alimentant en froid une surface de vente de 3 000 m². Il s'agit d'une installation frigorifique composée de 2 centrales fonctionnant au R-404A : une centrale positive avec deux réservoirs verticaux de 400 l connectés et une centrale négative avec un réservoir vertical de 400 l.



Figure 5 – Bouteille de transfert installée sur balance et reliée à l'installation frigorifique de l'entrepôt A par un flexible de récupération.

L'entrepôt A utilise le système expert SE1 depuis un an. Par choix du frigoriste pour la gestion de pertes de fluides, l'installation est sous-chargée. Depuis 1 an peu de fuites sont à signaler par l'opérateur. Etant donné que l'installation est faiblement chargée et que les températures extérieures sont très élevées dans la semaine précédant les essais, des alarmes de niveau bas ont été reçues en début de semaine sans pour autant signaler de fuites réelles. Il est choisi de faire l'essai sur la centrale positive n'ayant pas présenté d'alerte récemment. Sa charge nominale est estimée approximativement à 1 500 kg.

Tableau 3 - Caractéristiques de l'installation frigorifique

ENTREPÔT A – Centrale positive - description	
Charge totale de l'installation	1 500 kg environ
Volume des réservoirs	400 l * 2
Fluide frigorigène	R-404A
Type de réservoirs	Verticaux

Conditions de l'essai 1 – Entrepôt A – SE1

Le flexible de récupération est raccordé sur la ligne BP de la centrale positive. La bouteille de transfert est placée sur la balance. La tare est faite et le débit de soutirage est ajusté progressivement pour approcher un débit de 10g/min.

Au niveau du système expert, étant donné que l'installation est faiblement chargée et le réservoir proche du niveau bas, un réglage de la temporisation a été modifié par l'opérateur afin de supprimer l'alerte de niveau bas et de pouvoir éprouver le système sur sa détection de type « intégration ».

Cet essai devant être réalisé sur une journée, il a été choisi de tester le système expert sur un cas de fuite croissante avec un débit supérieur à 10g/min. Il a été difficile de maintenir le débit souhaité et des variations de débit sont à noter. Cependant, globalement, le débit a varié de 8 à 30 g/ minute en 5 heures.

Tableau 4- Conditions d'essais - Entrepôt A - SE1

ESSAI 1 - ENTREPÔT A – SE 1 – Conditions essais	
Type de fuite	Fuite croissante
Date	25/08/2017 Opération réalisée par le frigoriste
Température extérieure en début d'essai	35 °C
Début décharge	10h20
Débit initial de décharge	8 g/min
Débit final de décharge	30 g/min
Fin de la décharge = déclenchement alarme	15h03

A la demande du détenteur, les manipulations sont réalisées par le frigoriste en charge de l'installation. Le frigoriste explique que :

- L'installation est sous-chargée par l'opérateur afin de permettre une meilleure détection des fuites, l'alarme de niveau bas se déclenchant ainsi plus facilement ;
- Le niveau du réservoir est toujours proche du niveau bas.

Résultats

La fuite est bien signalée par l'alarme experte.

Le temps nécessaire au repérage de la fuite est inférieur à 5h, pour une perte totale inférieure à 1% de la charge nominale de l'installation. Même si les conditions d'essais étaient favorables au repérage de la fuite : demande stable (tous compresseurs en marche), température extérieure très élevée, installation sous-chargée, le temps de repérage de la fuite est très faible. De plus, l'alarme obtenue est de niveau rouge, garantissant une intervention rapide du frigoriste.



Tableau 5 – Résultats Essai 1 – Entrepôt A – SE1

ESSAI 1 - Entrepôt A – SE1 - Résultats	
Type de fuite	Fuite croissante
Débit de fuite moyen	13,2 g/min ou 0,8 kg/h
Repérage de la fuite par SE1	OUI
Temps de détection de la fuite par le SE1	4h 43 min
Type d'alarme	Experte Niveau rouge
Quantité de fluide frigorigène perdue	3,7 kg
Perte rapportée à la charge nominale de la centrale	0,25 %

5.2.2. S_{E1}– Essai 2 – Entrepôt B – Essai long

Description de l'installation

L'installation frigorifique de l'entrepôt B est constituée de 2 centrales positives à réservoirs horizontaux et une centrale négative au CO₂. Deux essais seront réalisés sur cette installation : le premier, essai long à faible débit sur la centrale positive n°2 (CP2) ; le second, essai court, pour un débit croissant sur la centrale n°1 (CP1).

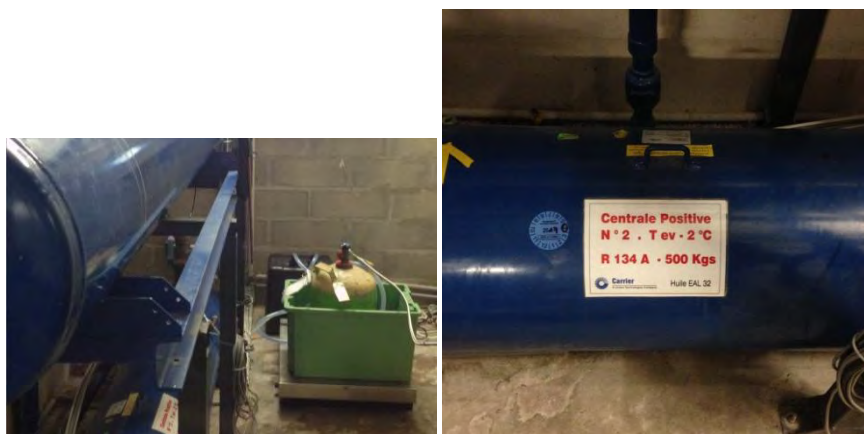


Figure 6 – Essai Système expert SE1 sur installation frigorifique de l'entrepôt B avec réservoir horizontal.

Le système expert a été implanté sur le site de l'entrepôt B en Juillet 2016.

Tableau 6 – Caractéristiques de l'installation frigorifique

ENTREPÔT B – Centrale positive 2 - description	
Charge totale de l'installation	500 kg
Volume du réservoir	300 l
Fluide frigorigène	R-134a
Type de réservoir	horizontal

Conditions de l'essai 2 – Entrepôt B – SE1

L'essai 2 visait à évaluer le système SE1 sur un test long, pour un débit de fuite faible, approchant le débit de 50g/h ou 0,8g/min. Un premier point de raccordement est choisi en sortie du séparateur d'huile, au niveau du refoulement compresseur afin de limiter la présence d'huile avec le fluide frigorigène récupéré. Cependant, la vanne micrométrique ne permettant pas de maintenir un débit stable sur la phase vapeur, nous changeons de site de raccordement et le raccordement est effectué sur le filtre déshydrateur (départ liquide).



Tableau 7- Conditions d'essais - Entrepôt B – CP2 - SE1

ESSAI 2 : ENTREPÔT B – CP2 – Essai long - SE 1 – Conditions essais	
Type de fuite	Fuite lente
Date	30/09 au 3/10/16
Température extérieure début essai	22 °C
Début décharge	30/09 (J) 11h24
Débit initial de décharge après réglages	1,7 g/min
Débit final de décharge	0,8 g/min
Fin de la décharge	03/10 (J+3) 10h20

Le débit visé, très faible, n'a pu être maintenu sur la durée de l'essai. Après la première heure de réglage durant laquelle le débit a fortement fluctué, le débit était de 1,7 g/min à la fin de la première journée. Cependant, les relevés quotidiens font apparaître que le débit a progressivement diminué, sans intervention supplémentaire, de 1,7 à 0,8 g/min. Cette baisse du débit massique peut s'expliquer par le phénomène d'équilibrage des pressions.

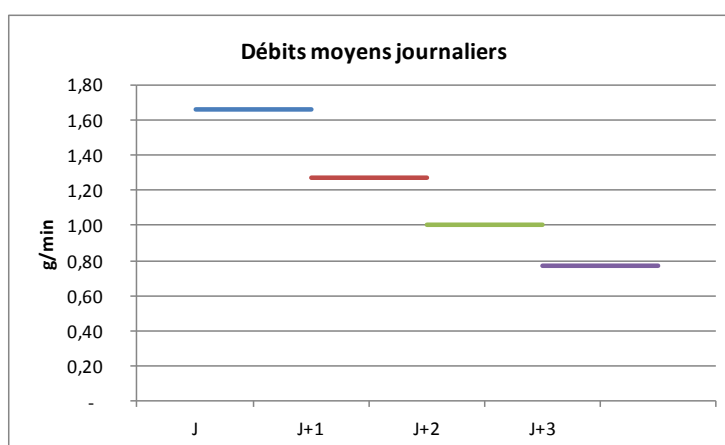


Figure 7 – Evolution du débit massique de soutirage au cours des 4 jours d'essais (J à J+3)

Résultats

Un message d'alarme de présomption d'une fuite légère à moyenne pour la centrale positive N°2 est reçu par mail par le détenteur le 3 Octobre à 3h46, indiquant une fuite légère à moyenne. Le relevé de masse est fait à 10h20 à l'ouverture de l'entrepôt. Un deuxième relevé, fait lors du démontage de l'installation à 14h40, permet d'estimer le débit massique final (en J+3). La quantité totale de fluides frigorigènes perdue entre le début de l'essai et le déclenchement de l'alarme par le système expert, dans la nuit de J+2 à J+3, est ainsi estimée en tenant compte :

- 1) Des pesées de début (J) et fin d'essai (J+3) de la bouteille de transfert ;
- 2) Des pertes estimées entre 3h46 et 14h40 en fonction du débit moyen calculé d'après les relevés de 10h20 et 14h40.

Les résultats du tableau ci-dessous en tiennent compte.

Tableau 8 – Résultats de l'essai 2 – Entrepôt B – CP2 - SE1

Entrepôt B – CP2 – Essai long - SE1 - Résultats	
Type de fuite	Fuite lente
Débit de fuite moyen	1,2 g/min ou 71 g/h
Repérage de la fuite par SE1	Oui
Temps de détection de la fuite par le SE1	2 jours 16h et 46 min
Type d'alarme	Experte Niveau orange
Quantité de fluide frigorigène perdue	4,8 kg
Perte rapportée à la charge nominale de la centrale	0,9 %



Cet essai permet de montrer qu'une fuite d'un niveau de débit proche de celui demandé par la réglementation est détectée en moins de 3 jours par le système expert. Les quantités de fluides frigorigènes perdues sont faibles, de 4,3 kg environ, correspondant à moins de 1 % de la charge nominale de l'installation.

5.2.3. SE₁– Essai 3 – Entrepôt B – Essai court

Description de l'installation

Cet essai s'est déroulé à la suite de l'essai 2, sur le même site, mais sur la centrale positive N° 1 (CP1) afin que le test ne soit pas influencé par la fuite précédemment mise en œuvre, chaque centrale étant reliée à son propre système expert. L'objectif était cette fois d'éprouver le système expert sur un autre type de fuite, de débit plus important et progressif (Essai court).

La deuxième centrale positive est de même nature que la première et ne présente aucune alerte de fuites durant le mois précédent notre intervention.

Tableau 9 – Caractéristiques de l'installation frigorifique

ENTREPÔT B – Centrale positive 1 - description	
Charge totale de l'installation	500 kg
Volume du réservoir	300 l
Fluide frigorigène	R-134a
Type de réservoir	horizontal

Conditions de l'essai 3 – Entrepôt B – SE₁

Le point de raccordement choisi se trouve également sur le départ liquide de la bouteille, au niveau du filtre déshydrateur. Le réglage du débit massique s'effectue en ouvrant progressivement la vanne micrométrique en sortie de bouteille de transfert.

Tableau 10- Conditions d'essais - Entrepôt B - SE1 – test court

ESSAI 3 : ENTREPÔT B – CP1 – Essai court - SE 1 – Conditions essais	
Type de fuite	Fuite croissante
Date	3/10/16
Température extérieure	19°C
Début décharge	16h
Débit initial de décharge après réglages	10 g/min
Débit final de décharge	140 g/min
Fin de la décharge	19h57

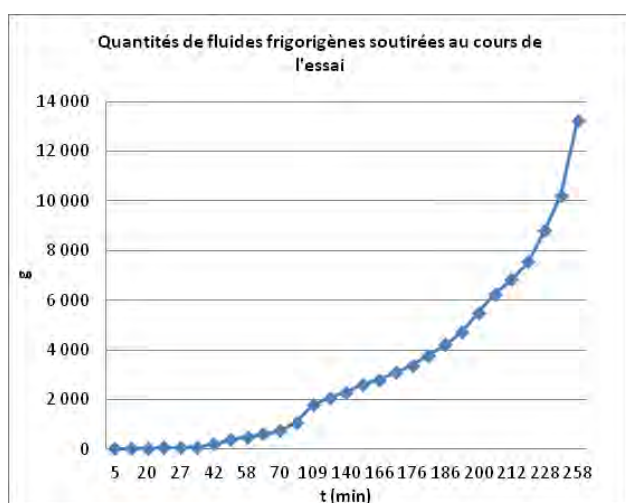


Figure 8 – Evolution de la masse de fluide frigorigène dans la bouteille de transfert au cours de l'essai 3

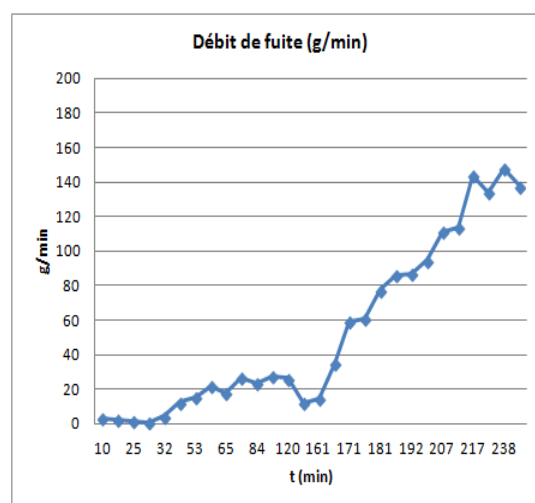


Figure 9 – Evolution du débit de fuite calculé entre les différents points relevés au cours de l'essai 3



L'ouverture progressive de la vanne permet de faire croître le débit de 5 à 140 g/h en 4 heures. Lors de cet essai également, des fluctuations de débit sont observées. L'essai est arrêté à la fin du remplissage de la bouteille de transfert, au bout de 4 heures.

Résultats

Une alarme « présomption de fuite légère à moyenne » est reçue le 3/10/16 à 20h25, soit 28 minutes après la fin de l'essai. La fuite, d'un débit moyen d'environ 56g/min est donc repérée en 4h25 par le système expert.

Tableau 11 – Résultats de l'essai 3 – Entrepôt B – SE1

Entrepôt B – CP1 – Essai court - SE1 - Résultats	
Type de fuite	Fuite croissante
Débit de fuite moyen	56,4 g/min ou 3,4 kg/h
Repérage de la fuite par SE1	Oui
Temps de détection de la fuite par le SE1	4h25
Type d'alarme	Experte Niveau rouge
Quantité de fluide frigorigène perdue	13,4 kg
Perte rapportée à la charge nominale de la centrale	2,2 %

Si la fuite avait été maintenue et été indiquée par le déclenchement de l'alarme, la perte aurait été égale à environ 3 % de la charge nominale.

Ce test montre que, sur une fuite croissante de débit plus élevé, ce système expert est capable de réagir en peu de temps. Les quantités de fluides frigorigènes perdues sont plus importantes que lors des essais de fuite lente (de 13,4 kg pour l'essai 3) mais elles restent faibles comparées à la charge nominale de l'installation.

Il convient de souligner que ces pertes ne tiennent cependant pas compte des quantités qui auraient été perdues entre le moment de l'alarme et l'intervention du frigoriste. La fuite simulée a atteint 140 g/min à la fin de l'essai (Figure 9) soit 8 kg/h. Il aurait été intéressant de pouvoir poursuivre l'essai jusqu'au déclenchement de l'alarme mais les conditions d'essais (salle des machines en hauteur, bouteille de transfert de 26 l) ne l'ont pas permis.

L'importance de la perte finale de fluide frigorigène sera liée au temps mis par le frigoriste pour intervenir après réception d'une alarme, surtout dans le cas d'une fuite croissante. Dans le cas de cet entrepôt, le contrat qui lie le détenteur à l'opérateur prévoit une intervention dans les 4 heures après réception de l'alarme, quelque soit le type d'alarme, permettant de limiter les pertes de fluide frigorigène.

5.2.4. Conclusions des essais sur SE1

Les trois essais menés sur le premier système expert sont concluants. Ils ont tous montré que le système expert alerte rapidement sur l'existence d'une fuite, quelque soit le type de fuite simulé. Les pertes de fluide frigorigène, pour une fuite lente, sont, au final, très faibles. Pour les fuites croissantes, les temps nécessaires au repérage de la fuite varient en fonction des conditions de fonctionnement de l'installation. Il semble que certains facteurs, tels qu'une température extérieure élevée, provoquant un régime de fonctionnement quasi-stationnaire, accélèrent le repérage de la fuite par le système expert. Il serait nécessaire de faire des essais supplémentaires dans des conditions ambiantes différentes pour pouvoir conclure plus précisément.

Le SE₁ indique globalement bien le niveau de fuite. Il aurait été intéressant de mener des essais supplémentaires pour des débits de soutirage progressifs de plus en plus élevés afin d'observer plus finement dans quelles conditions le système expert fait basculer l'alarme du niveau orange au niveau rouge.



5.2.5. SE2– Essai 4 – Hypermarché A – Premier essai

Description de l'installation

L'hypermarché qui a accepté de participer à l'étude comporte quatre centrales frigorifiques au R-404A : deux centrales positives de 1200 kg et deux centrales négatives de 600 kg. Trois essais y ont été réalisés. Le premier est réalisé sur l'une des centrales positives (Tableau 13) de l'installation.

L'essai 4 a été le premier essai de la série de tests sur systèmes experts, il a donc permis d'éprouver le protocole d'essais et fait face aux premières difficultés expérimentales pour la maîtrise du débit de soutirage. Lors de ce premier essai, la bouteille de transfert n'était pas maintenue en température.

Tableau 12 – Caractéristiques de l'installation frigorifique

HYPERMARCHÉ A – Centrale positive 1 – description	
Charge totale de l'installation	1 200 kg
Volume du réservoir	2*300 l
Fluide frigorigène	R-404A
Type de réservoir	Vertical

Conditions de l'essai 4 – Hypermarché A – SE2

L'essai a consisté à simuler une fuite à tendance croissante de débit assez fluctuant (Figure 12) entre 10 à 80 g/min durant 8h par soutirage progressif du fluide frigorigène vers la bouteille de transfert, et ce par réglages successifs de la vanne micrométrique. Le point de raccordement choisi se trouve sur la ligne HP, en un des points usuellement utilisés par le frigoriste pour réaliser la recharge en fluide de cette centrale.



Figure 10 - Essai Système expert SE₂ sur installation frigorifique de l'hypermarché A avec réservoir vertical

Tableau 13- Conditions d'essais - Hypermarché A – SE2 – Premier essai

ESSAI 4 : Hypermarché A – SE 2 – Conditions essais	
Type de fuite	Fuite croissante
Date	28/06/16 En présence du frigoriste
Température extérieure au début de l'essai	19 °C
Début décharge	11h
Débit initial de décharge	10 g/min
Débit final de décharge	60 g/min
Fin de la décharge	19h



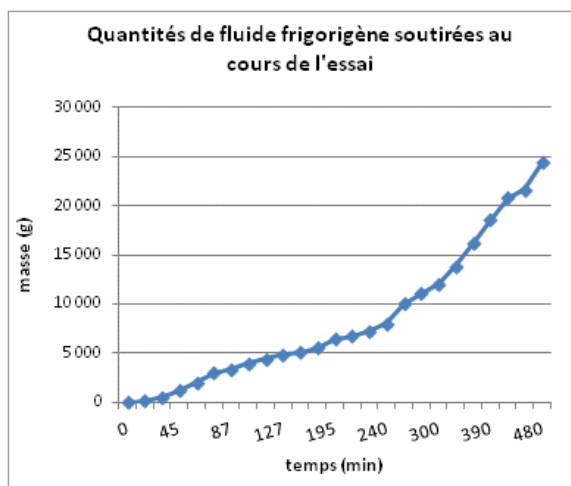


Figure 11 – Evolution de la masse de fluide frigorigène dans la bouteille de transfert au cours de l'essai 4

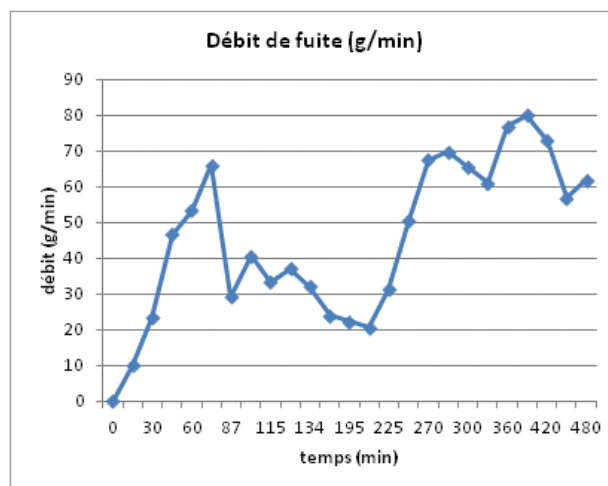


Figure 12 – Evolution du débit de fuite calculé entre les différents points relevés au cours de l'essai 4

Résultats

Le SE₂ n'a pas donné de signal d'alerte au cours de l'essai et du retrait des 24 kg de R-404A. Cependant une alarme de type « experte » a été reçue à 10h le 30/06 soit 39h après la fin de l'essai. Le fabricant du SE₂ a signalé, à la suite de l'essai, que les réglages du SE₂ n'étaient pas optimaux et que la centrale avait une suspicion de fuites qui pouvait fausser les résultats de ce test. Il faut donc prendre ces résultats avec précaution. Il est cependant probable que la fuite ait été détectée par le SE₂ mais près de deux jours après la fin de l'essai.

Tableau 14 – Résultats de l'essai 4 – Hypermarché A – SE₂

Hypermarché A – Résultats	
Type de fuite	Fuite croissante
Débit de fuite moyen	3,1 kg/h ou 50,9 g/min
Repérage de la fuite par SE2	Probable
Temps de détection de la fuite par le SE2	39h
Type d'alarme	Experte Niveau orange
Quantité de fluide frigorigène perdue	24,4 kg
Perte rapportée à la charge nominale de la centrale	2 %

L'écart constaté entre la fin de l'essai et le moment d'envoi de l'alarme par le SE soulève la question de la perte de fluide qui se serait produite si l'essai avait été poursuivi : comment aurait réagi le système si la fuite avait été prolongée ? Il est probable que l'alarme aurait été donnée avant les 39h mais dans quelle mesure les quantités de fluides frigorigènes perdues auraient été supérieures ?

Il serait utile de refaire un essai sur une fuite progressive croissante afin d'observer si le SE₂ permet de repérer une fuite grossissante avant que l'installation ait perdu 10 % de sa charge nominale.



5.2.6. SE2– Essai 5 – Hypermarché A

Description de l'installation

Il s'agit de la même installation frigorifique que dans l'essai 4. Au moment de l'essai, des présomptions de fuite sont présentes sur les centrales positives 1 & 2. Il est choisi d'intervenir sur la centrale négative n°2, CN2.

Tableau 15 – Caractéristiques de l'installation frigorifique

HYPERMARCHÉ A – Centrale négative 2 - description	
Charge totale de l'installation	600 kg
Volume du réservoir	400 l
Fluide frigorigène	R-404A
Type de réservoir	vertical

Conditions de l'essai 5 – Hypermarché A – SE2

L'objectif est de tester le système expert sur une fuite lente. Il est choisi un point de raccordement facilement accessible en point bas sur la ligne liquide. La bouteille de transfert est placée dans un bac d'eau maintenu à une température entre 10 et 11°C. Le débit de soutirage de 50/h soit 0,8 g/min est visé mais le réglage du débit est, dès le premier jour, particulièrement difficile.

Tableau 16- Conditions d'essais - Hypermarché A – SE2 – test court

ESSAI 5 : Hypermarché A – CN2 - SE 2 – Conditions essais	
Type de fuite	Fuite lente
Date	26/09/16
Température extérieure début essai	17 °C
Début décharge	10h38
Débit initial de décharge après réglages	0,7 g/h
Débit final de décharge	0,3 g/h
Fin de la décharge	29/09 à 16h40

Résultats

Cet essai a dû être arrêté au bout de 3 jours et demi pour des raisons d'organisation. Etant donnée cette contrainte, couplée à un débit continuellement décroissant malgré les réglages quotidiens, le SE₂ n'a pas détecté la fuite, ni le jour même, ni les jours qui ont suivi l'essai.

Lors du démontage de l'installation, une présence importante d'huile a expliqué la difficulté du réglage du débit de soutirage. Les résultats sont donnés de façon indicative au Tableau 17. On remarque que le débit de soutirage moyen est bas et que les quantités de fluides frigorigènes perdues sont très faibles, représentant moins de 0,5 % de la charge nominale de l'installation.

Tableau 17 – Résultats de l'essai 5 – Hypermarché A – SE₂

Hypermarché A – Résultats	
Type de fuite	Très lente
Débit de fuite moyen	0,5 g/min ou 32 g/h
Repérage de la fuite par SE1	Non
Temps de détection de la fuite par le SE1	Essai arrêté le 3 ^{ème} jour
Quantité de fluide frigorigène perdue	2,5 kg
Perte rapportée à la charge nominale de la centrale	0,4 %



5.2.7. SE₂– Essai 6 – Essai long- Hypermarché A

Etant donné les difficultés expérimentales rencontrées lors de l'essai 5, l'essai 6 est réalisé sur la même installation, pour une fuite lente, sans contrainte de durée pour la mise en œuvre de l'essai.

Description de l'installation

Tableau 18 – Caractéristiques de l'installation frigorifique

HYPERMARCHÉ A – Centrale négative 2 - description	
Charge totale de l'installation	600 kg
Volume du réservoir	400 l
Fluide frigorigène	R-404A
Type de réservoir	Vertical

Conditions de l'essai 6 – Hypermarché A – SE₂

L'objectif est à nouveau de tester le système expert sur une fuite lente de débit approchant la valeur seuil de 50 g/an. La bouteille de transfert est placée dans le bac d'eau maintenu à une température entre 10 et 11°C. Lors des premières heures d'essais, une fuite est détectée au détecteur mobile, l'installation doit être réglée.

Tableau 19- Conditions d'essais - Hypermarché A – SE₂

ESSAI 6 : Hypermarché A – SE 2 – Conditions essais	
Type de fuite	Fuite lente
Date	17/10/16 au 24/10/16
Température extérieure	17 °C
Début décharge après réglages	13h
Débit initial de décharge après réglages	0,8 g/min
Débit final de décharge	1,2 g/min
Fin de la décharge	24/10/16 14h

Un ajustement quotidien du débit de soutirage est réalisé de façon à maintenir un débit autour de 1g/min. Le débit est réglé à la hausse avant le week-end (J5) afin que la fuite ne devienne pas trop lente sans intervention durant deux jours. Les mesures de la masse de fluide récupérée dans la bouteille de transfert sont enregistrées toutes les minutes (Figure 13) ; elles permettent d'évaluer le débit moyen journalier du soutirage (Figure 14).

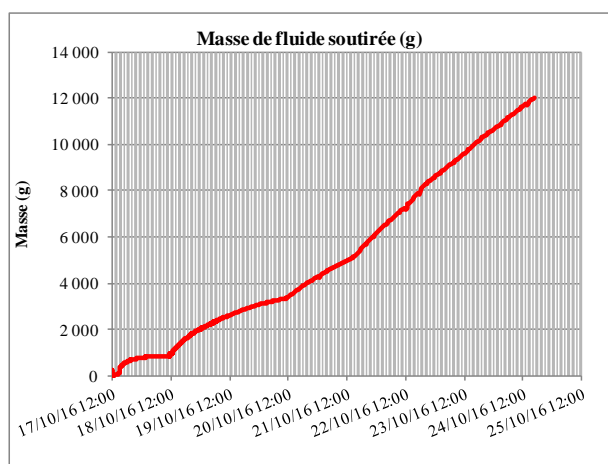


Figure 13 – Evolution de la masse de fluide frigorigène dans la bouteille de transfert au cours de l'essai 6

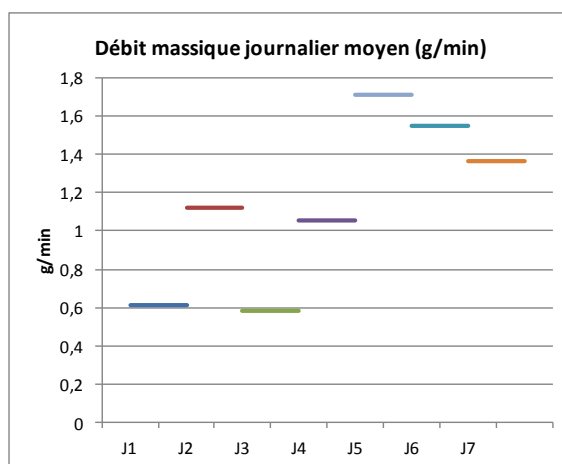


Figure 14 – Evolution du débit massique moyen de soutirage durant les 7 jours de l'essai 6.

Résultats

Une alarme « experte » est envoyée par le SE₂ Le 24/10 à 7h, soit près de 7 jours après le début de l'essai. L'enregistrement permet d'évaluer précisément les quantités de fluide frigorigène présentes dans la bouteille de transfert au moment du déclenchement de l'alarme. Les quantités perdues sont faibles, comme le montre le Tableau 20, ne représentant qu' 1 % de la charge nominale de l'installation.



Tableau 20 – Résultats de l'essai 6 – Hypermarché A – SE₂

Hypermarché A – Résultats	
Type de fuite	Lente
Débit de fuite moyen	1,2 g/min ou 72 g/h
Repérage de la fuite par SE2	Oui
Temps de détection de la fuite par le SE1	6 jours et 20h
Type d'alarme	Experte
Quantité de fluide frigorigène perdue	11,4 kg
Perte rapportée à la charge nominale de la centrale	1,1 %

5.2.8. SE₂– Essai 7 – Essai court - Hypermarché A

L'essai 4 présentant des incertitudes, un essai court est réalisé afin d'éprouver le SE2 sur un cas de fuite croissante et de vérifier si l'alarme est donnée avant que l'installation n'ait perdu 10 % de sa charge nominale. Une des centrales de plus faible charge (600 kg) ne présentant aucune présomption de fuite sur les 2 dernières semaines est sélectionnée.

Description de l'installation

Tableau 21 – Caractéristiques de l'installation frigorifique

HYPERMARCHE A – Centrale négative 1 - description	
Charge totale de l'installation	600 kg
Volume du réservoir	400 l
Fluide frigorigène	R-404A
Type de réservoir	Vertical

Conditions de l'essai 7 – Hypermarché A – SE₂

Différents tests et réglages ont été établis lors de la première heure de l'essai. Le premier piquage, sur la ligne HP, après le séparateur d'huile, ne permettait pas de régler facilement le débit à l'aide de la vanne micrométrique. L'essai est arrêté alors que 200g ont été soutirés. Un nouveau point de soutirage est choisi sur la ligne liquide. Deux arrêts de 4 et 6 minutes sont à noter dans la période de soutirage. Ils sont liés aux conditions expérimentales : dans le premier cas, le débit de fuite ne pouvant augmenter, la vanne micrométrique a été démontée afin de régler manuellement le débit ; dans le deuxième cas, la capacité maximale de la bouteille de transfert étant atteinte, un changement de bouteille a imposé un arrêt de quelques minutes dans le soutirage du R-404A.

Tableau 22- Conditions d'essais - Hypermarché A – SE₂

ESSAI 7 : Hypermarché A – SE 2 – Conditions essais	
Type de fuite	Fuite croissante
Date	10/02/17
Température extérieure	2 °C
Début décharge après réglages	11h
Débit initial de décharge après réglages	5 g/min
Débit final de décharge	300 g/min
Fin de la décharge	19h30

Les mesures de la masse de fluide récupérée (Figure 14) dans la bouteille de transfert ont été notées régulièrement ; elles permettent d'évaluer le débit moyen journalier du soutirage (Figure 16).



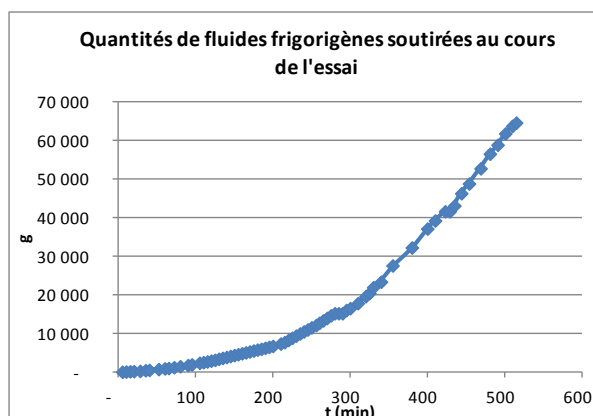


Figure 15 – Evolution de la masse de fluide frigorigène dans la bouteille de transfert au cours de l'essai 7

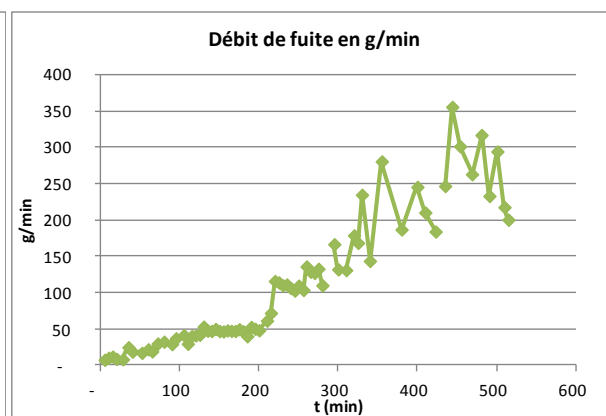


Figure 16 – Evolution du débit massique moyen de soutirage durant l'essai 7.

Résultats

Au cours de la journée d'essai, 65,3 kg de R-404A soit plus de 10 % de la charge nominale de l'installation ont été soutirés selon un débit de fuite progressif, sans que l'alarme du SE2 ne se déclenche. A partir de 17h30, le niveau dans le réservoir est passé, à plusieurs reprises, en dessous du seuil de niveau bas. Un décompte temporel est apparu sur l'écran du système expert mais le niveau n'est pas resté suffisamment longtemps en dessous du seuil pour déclencher une alarme de niveau bas (temporisation).

L'alarme de niveau bas s'est déclenchée 4h après la fin de l'essai. Une alarme de type experte a également été envoyée 15h30 après la fin de l'essai.

Tableau 23 – Résultats de l'essai 6 – Hypermarché A – SE₂

Hypermarché A – Résultats	
Type de fuite	Fuite croissante
Débit de fuite moyen	127 g/min
Repérage de la fuite par SE2	Oui
Temps de détection de la fuite par le SE2	12h30
Type d'alarme	Niveau bas
Quantité de fluide frigorigène perdue	65 kg
Perte rapportée à la charge nominale de la centrale	11 %

Lors de cet essai, le SE2 n'a pas permis de signaler la fuite dans un temps suffisamment court pour éviter la perte de 10 % de la charge nominale. Cependant, l'alerte a été donnée peu de temps après la fin de l'essai. Il convient de souligner que cet essai présente des incertitudes : le débit de fuite a été difficile à maintenir durant certaines périodes, deux arrêts de quelques minutes ont interrompu le soutirage. Par ailleurs, les charges réelles des installations ne sont pas connues précisément et nécessiteraient d'être confirmées pour pouvoir valider le seuil de 10 % de la charge.

Cet essai montre également qu'il existe un grand nombre de types de fuites possibles et que de tester un système pour un faible débit de fuite ne constitue pas la garantie d'un repérage systématique des débits de fuites plus élevés.

5.2.9. Conclusions des essais sur SE2

Les résultats des essais sur site montrent une bonne capacité du SE₂ à repérer les fuites de fluides frigorigènes de faible débit. Dans ce cas, l'alarme est donnée au bout de quelques jours et les pertes représentent des quantités faibles de fluide frigorigène (de l'ordre de 1 %), rapportées à la charge nominale de l'installation.

Dans le cas de fuites progressives de débit plus élevé, le premier essai (essai 4) est écarté car il a été limité à huit heures et il est possible qu'il ait été réalisé sur une installation présentant une suspicion de fuite. Le deuxième essai montre que le système expert ne repère pas nécessairement la fuite dans un temps suffisamment court pour que la perte de fluides n'excède pas 10 % de la charge. Une alarme a bien été envoyée par le SE₂ mais seulement plusieurs heures après la fin de l'essai et alors que l'installation avait perdu



11 % de sa charge. Il serait nécessaire de compléter ces essais par de nouveaux tests pour avoir une vision objective des pertes de fluides pouvant être attendues avant le déclenchement de l’alarme du SE2 en cas de fuite croissante. Le détenteur de l’installation propose de réaliser un essai supplémentaire sur la même installation, en présence du fabricant du système, afin de vérifier si, après réétalonnage du système expert, l’essai n° 7 donne un résultat différent. Le résultat de ce test pourra être intégré dans une deuxième version de ce rapport.

5.2.10. Tableau récapitulatif des essais sur systèmes experts.

Le récapitulatif des essais de terrain sur systèmes experts est présenté au Tableau 24, par ordre de débit de fuite moyen croissant.

Tableau 24 – Bilan des résultats d’essais sur site sur les systèmes experts

Système Expert	SE2	SE1	SE2	SE1	SE2	SE1	SE2
Charge de l’installation (kg)	600	500	600	1500	1200	500	600
Fluide	R-404A	R-134a	R-404A	R-404A	R-404A	R-134a	R-404A
Type de réservoir	vertical	horizontal	vertical	vertical	vertical	horizontal	vertical
Débit moyen fuites	0,5 g/min	1,2 g/min	1,2 g/min	13,2 g/min	50,9 g/min	56,4 g/min	127 g/min
Débit moyen fuites	32 g/h	71 g/h	72 g/h	0,8 kg/h	3,1 kg/h	3,4 kg/h	7,6 kg/h
Alarme fuite	non	oui	oui	oui	probable	oui	oui
Type d’alarme	–	expert	expert	expert	expert	expert	niveau bas
Temps repérage	–	2j 16h 46min	6j 20h	4h43	1j 15h	4h25	12h30
Pertes totales à la fin de l’essai	2,5 kg	4,8 kg	11,4 kg	3,7 kg	24,4 kg	13,4 kg	65 kg
Pertes en t eq. CO2	9,8	6,9	44,5	14,4	12,1	19,2	253,5
Pertes rapportées à la charge nominale	0,4%	0,9%	1,1%	0,25%	0,0%	2,2%	10,9%
Remarque	Problème expérimental	RAS	RAS	T _{ext} élevée	Alarme 39 h après la fin de l’essai	Alarme 28 min après la fin de l’essai	Alarme 4 h après la fin de l’essai

Note : dans le cas des essais pour lesquels l’alarme s’est déclenchée après la fin de l’essai, les résultats du tableau ne tiennent pas compte des pertes de fluides frigorigènes qui se seraient produites entre la fin de l’essai et le moment du déclenchement de l’alarme.

Les premiers résultats montrent que les systèmes experts permettent, dans la quasi-totalité des cas, de détecter la fuite au cours ou quelques heures après la fin de l’essai. Dans les essais réalisés, le SE₁ apparaît plus sensible que le SE₂ et permet de repérer plus rapidement les fuites de fluides frigorigènes.

Cependant, les conditions expérimentales ayant été moins favorables lors des essais mis en œuvre sur le SE₂, il serait nécessaire de faire des essais supplémentaires pour pouvoir conclure plus précisément, notamment sur les cas des fuites moyennes croissantes.

Bien que la réglementation exige des systèmes experts qu’ils soient capables de détecter des fuites d’un débit de 50g/h, il convient de rappeler que, comme l’a conclu le rapport Cemafruid Irstea [9], ce sont les « grosses » fuites les plus pénalisantes pour l’environnement et il est important que les systèmes experts soient capables de les détecter rapidement. Cependant, les résultats des tests montrent que, dans des conditions analogues, un système expert peut repérer une fuite de bas débit et ne pas repérer, en un temps suffisamment court pour éviter la perte des 10 % de la charge nominale de l’installation, une fuite de plus fort débit.



5.3. Essais sur le système de détection intégré à l'équipement de climatisation DRV

A noter : les tests et les résultats ici présentés ne doivent être considérés valables que sur le modèle du marché vendu à ce jour. Il n'est pas garanti que les modèles suivants garderont l'ensemble des fonctionnalités impactant le test de fuite.

5.3.1. Caractéristiques du DRV (Débit de Réfrigérant Variable)

Fluide utilisé : R-410A

Configuration : Le DRV est constitué d'une unité extérieure et de 1 à 48 unités intérieures (de type "gainable", "cabinet", "mural", etc.). La charge maximum est prévue à 95 kg mais les charges usuelles n'excèdent généralement pas 30 kg. Une bouteille liquide permet de stocker les éventuelles surcharges en fluide de l'installation.



Figure 17 –système DRV

Charge : La charge du DRV est composée d'une partie dite "charge nominale" chargée d'usine et d'un complément de charge qui est réalisé par l'opérateur lors de la mise en service. Ce complément peut être évalué par l'opérateur selon la composition du système et le diamètre des tuyauteries ("charge mécanique") ou être réalisé automatiquement. Dans ce cas, le système calcule automatiquement la charge complète optimale pour son bon fonctionnement (en se calant sur un cycle thermodynamique parfait) et le complément de charge se fait à partir de la charge nominale contenue dans le groupe extérieur. L'opérateur doit alors peser les quantités supplémentaires chargées et indiquer manuellement la gamme, par pas de 5 kg, dans laquelle se trouvent les quantités introduites.

L'utilisation du système de détection de fuites intégré au DRV nécessite de réaliser, après l'opération de charge automatique, une opération d'acquisition (ou "test long" de 3h environ). L'opération d'acquisition de données est réalisée une seule fois à la mise en service de l'installation et reste valable pour toute la durée de vie du produit.

5.3.2. Procédure d'essais

Afin d'évaluer le système de détection intégré dans le système DRV, il est proposé :

- De décharger l'installation d'une quantité de fluide frigorigène connue par pesée ;
- De mettre en marche le système de test dans les conditions recommandées par le fabricant ;
- De vérifier si la fuite est détectée par le système et de comparer, le cas échéant, le niveau de perte indiqué par le système avec le niveau réel.



La prise en compte des préconisations fabricant consiste à :

- S'assurer qu'une charge automatique et une procédure d'acquisition (test long) ont été réalisés sur l'installation testée ;
- Faire fonctionner l'installation dans un cycle normal une trentaine de minutes entre chaque test, en mode chaud ou froid suivant les conditions de l'installation ;
- Réaliser les tests de contrôle d'étanchéité en mode froid après une période de fonctionnement permettant d'atteindre une température intérieure moyenne d'environ 26°C et de pouvoir réaliser le test en conditions réelles.

Pour des considérations pratiques, la charge automatique et le test d'acquisition ont été réalisés préalablement aux tests. La valeur de la charge automatique est vérifiée au cours des tests par une décharge complète et une pesée du fluide frigorigène contenu dans l'installation.

Les niveaux de décharge choisis sont liés aux valeurs seuils données par le dernier arrêté paru dans la réglementation française. L'arrêté prévoyant que les méthodes indirectes soient capables de déclencher une alarme avant que l'installation n'ait perdu 10 % de sa charge nominale, le premier test a été réalisé pour une décharge équivalente à **10 %** de la charge de l'installation.

Les étapes de la journée d'essai sont les suivantes :

- 1) Une estimation de la charge "automatique", soit du complément de charge préconisé par le système.
- 2) Préchauffage du bâtiment nécessaire aux alentours de 26°C (température intérieure de référence)
- 3) Test 1: décharge de 10 % de l'installation
Lancement d'un test de fuite après retrait des quantités nécessaires calculées selon la charge de référence de l'installation donnée par la charge automatique
- 4) Fonctionnement de l'installation dans un cycle normal, chaud environ 1/2 h
- 5) Test 2 selon résultat test 1
Décharge de 5 % de l'installation (ou 12% de l'installation si test 1 n'a pas révélé de fuite)
Lancement d'un test de fuite
- 6) Fonctionnement de l'installation dans un cycle normal chaud, environ 1/2 h
- 7) Test 3 selon résultats autres tests
Lancement d'un test de fuite
- 8) Recharge et fonctionnement de l'installation dans un cycle normal
- 9) Récupération de la charge totale, pesée et comparaison avec la charge initiale
- 10) Recharge complète

Un groupe de transfert relié à l'unité extérieure du DRV au niveau du réservoir liquide (point utilisé par le frigoriste pour les recharges de l'installation) et à une bouteille de transfert tirée au vide permet le soutirage du fluide frigorigène. La bouteille est posée sur une balance qui permet le contrôle de la quantité déchargée.

Chaque test est composé des étapes suivantes :

- Dans notre cas de figure, l'installation est mise en fonctionnement dans un cycle normal chaud de façon à obtenir une température intérieure moyenne supérieure à 26°C.
- La bouteille de transfert est pesée avec ses flexibles et raccords.
- Les flexibles de récupération sont reliés à l'unité extérieure. Une quantité fixée est récupérée dans la bouteille à l'aide du groupe de transfert. Sa pesée sur la balance permet de contrôler précisément la quantité extraite.
- Les flexibles sont détachés de l'unité. Le test d'étanchéité est lancé en mode froid. Lors de chaque test, la température intérieure du bâtiment descend de plusieurs degrés. Le code de détection est relevé à la fin du test.
- Les quantités déchargées sont vérifiées par pesée de la bouteille, des flexibles et raccords à la fin du test. Elles sont rechargées. Les quantités éventuellement piégées dans la bouteille de transfert sont pesées.

Pour chaque test sont donc relevés :

- La quantité de fluide frigorigène déchargée



- Le temps de décharge
- Les températures extérieures initiale et finale
- Les températures intérieures initiale et finale
- Le temps du test d'étanchéité
- Le résultat du test (détection oui/non et quantité)

Lors de la décharge complète de l'installation, pour être plus rapide et éviter les pièges de liquide, toutes les unités intérieures sont mises en chauffage. La descente en pression est contrôlée jusqu'à atteindre 300 mbar abs et garantir le transfert de la quasi-totalité du fluide frigorigène.

5.3.3. Premier essai : Immeuble A – 18 Août 2016

Préalablement aux essais, le 6 Juin, une opération de charge automatique et un « test long » d'acquisition, nécessaires au fonctionnement du détecteur de fuites intégré, ont été menés afin de préparer l'installation. La charge récupérée a été de 15,95 kg alors que la charge plaquée était de 17,3 kg (la mise en service datant de 2013). L'opération de charge automatique a abouti à une charge totale de 12,61 kg. Le carnet de suivi de l'installation n'étant pas disponible sur site, aucun document ne permet de vérifier la maintenance de l'installation et de constater si une fuite a eu lieu.

Charge_ référence $A = 12,61$ kg

La charge automatique a été réalisée en 25 minutes à une température extérieure de 24°C.

Le « test long » d'acquisition a été réalisé en 2h 14 min.

L'écart entre la charge automatique et la charge initiale plaquée peut s'expliquer par le fait que la première ait été estimée par un calcul de tuyauteries (charge "mécanique") et soit supérieure à celle calculée par le système expert.

Tableau 25 - Synthèse des informations sur la charge de l'installation DRV de l'immeuble A

Charge plaquée (kg)	17,31
Charge nominale (kg)	6,31
Complément de charge à la mise en service (kg)	11
Charge récupérée avant charge automatique (kg)	15,95
Perte (kg)	1,36
Perte (%)	8%
Charge automatique = charge de référence (kg)	12,61
Surcharge initiale (kg)	4,7
Surcharge initiale %	37 %

5.3.3.1 - Test 1 – décharge 10 %

Conditions d'essais

L'étage est préchauffé à distance durant 60 minutes afin de débiter l'essai en mode froid avec une température moyenne supérieure à 26°C. Une gamme est donnée pour la température intérieure car elle varie selon les sondes.

	Température extérieure	Température intérieure
Initiale	20°C	26,5 à 27°C
Finale	21°C	23,3°C

Un soutirage de 1,3 kg de R-410A de l'installation est réalisé afin de lancer le premier test, en mode froid, pour une perte équivalant à 10 % de la charge de référence.



Résultats du test de contrôle d'étanchéité après décharge

Quantité soutirée (10 %)	1, 3 kg
Temps de décharge	5 min
Durée du test de fuite	1h30
Repérage de la fuite	Oui
Code obtenu	L05 (perte de 2 à 2,5 kg)
Code attendu	L03 (perte de 1 à 1,5 kg)
Evaluation de la quantité perdue	Surestimée

Le premier test montre que, pour un niveau de pertes de fluide frigorigène correspondant au seuil de 10 % exigé par la réglementation, le système expert intégré au DRV signale la fuite. L'indication donnée par le code de fuite est erronée et surestime la quantité perdue d'au moins 50 %.

5.3.3.2 - Test 2 – décharge 5 %

Conditions d'essais

Le deuxième test prend en compte une perte équivalant à 5 % de la charge de référence. Il est choisi de recharger 670 g de la bouteille vers le groupe après le test 1. L'étage est ensuite chauffé jusqu'à environ 26°C en 30 minutes et le test d'étanchéité est réalisé en mode froid.

	Température extérieure	Température intérieure
Initiale	22°C	26 à 27°C
Finale	22°C	22,5 à 23°C

Résultats du test de contrôle d'étanchéité après recharge partielle de 5 %

Quantité soutirée (5 %)	0,63 kg
Temps de recharge	3 min
Durée du test de fuite	1h20
Repérage de la fuite	Oui
Code obtenu	L05 (perte de 2 à 2,5 kg)
Code attendu	L02 (perte de 0,5 à 1 kg)
Evaluation de la quantité perdue	Surestimée

Le même code de fuite est obtenu pour les deux tests, indépendamment de la quantité déchargée. Il est décidé de faire une vérification de cohérence des codes donnés par le détecteur en faisant le dernier test après avoir rechargé la totalité de la charge.

5.3.3.3 - Test 3 – avec charge complète

Conditions d'essais

Une recharge complète des quantités déchargées aux tests précédents est réalisée. Un chauffage de la bouteille permet d'accélérer le processus de transfert. L'installation fonctionne 20 minutes en mode chaud pour atteindre une température intérieure supérieure à 26 °C avant le test d'étanchéité réalisé en mode froid.

	Température extérieure	Température intérieure
Initiale	24°C	26,5 à 27°C
Finale	22,4°C	23 à 24°C



Résultats du test de contrôle d'étanchéité après recharge totale

Quantité soutirée	0 (recharge complète à 10g près)
Temps de recharge	10 min
Durée du test de fuite	1h05
Repérage de l'absence de fuite	oui
Code obtenu	L01
Code attendu	L01
Evaluation de la quantité perdue	Exacte

Le test 3 a permis de vérifier :

- d'une part, que le système détectait bien une absence de fuite ;
- d'autre part, qu'il ne donnait pas toujours le même code d'erreur.

5.3.3.4 – Test 4 – vérification de la charge automatique

Cette opération de décharge complète vise à vérifier la valeur de la charge de référence, celle-ci ayant été établie plusieurs jours auparavant. Elle permet aussi de s'assurer qu'il n'y a pas eu de fuite depuis l'opération de charge automatique et de test long réalisés un mois et demi plus tôt.

Conditions d'essais

L'installation est complètement déchargée de son fluide frigorigène. Afin d'accélérer le processus de soutirage, la décharge est réalisée en mode chaud. Une descente en pression jusqu'à 300 mbar abs est assurée afin de récupérer la quasi-totalité du fluide présent dans l'installation.

Lors de la manipulation des flexibles de récupération, une perte de fluide est à déplorer, elle est évaluée par les techniciens à 50g. T_{ext} : 22°C

Résultats du test d'évaluation de la charge

Quantité soutirée	12,330 kg
Temps de décharge	1h20
Quantité attendue	12,610 kg
Ecart (g)	280 g
Ecart (%)	2,2 %

L'écart obtenu entre l'évaluation par pesée de la quantité totale déchargée et celle donnée par la charge automatique peut être liée à :

- Une erreur de pesée lors de la charge automatique ;
- Une erreur de pesée lors de la tare initiale de la bouteille ;
- Une décharge incomplète de l'installation lors de la dernière opération, liée à la limite de la descente en pression du groupe de transfert ;
- Une fuite sur l'installation, trop faible pour pouvoir être détectée par le système intégré.

Cependant, l'écart entre les deux valeurs est :

- suffisamment faible pour ne pas remettre en question les plages auxquelles appartiennent les quantités déchargées dans les tests 1 et 2 ;
- ne peut expliquer l'écart entre les codes obtenus et attendus aux tests 1 et 2.

5.3.3.5 – Premier bilan

La première journée de tests a permis de constater que le système de détection indiquait bien l'existence d'une fuite dans tous les cas où un soutirage de fluide avait été réalisé. De même, le système indique bien une absence de fuite (L01) lorsque l'installation fonctionne avec sa charge complète.



Les tests réalisés pour une décharge de 5 puis de 10 % montrent que les codes donnés par le système de détection ne correspondent pas précisément au niveau réel de la fuite : il indique une perte de 2 à 2,5 kg au lieu de 1 à 1,5 kg dans le premier cas. Dans test suivant, le code est inchangé et, avec une perte réelle inférieure, située dans la gamme de 0,5 à 1kg le code indique toujours une perte de 2 à 2,5 kg.

Etant donné l'obtention des deux mêmes codes pour les tests 1 et 2, la question de l'impact d'un test sur le suivant peut être posée. Pour éliminer son influence éventuelle et assurer une situation initiale identique, lors des essais suivants, une étape supplémentaire de recharge totale et de détection de fuite sera ajoutée entre les tests.

5.3.4. Deuxième essai - Immeuble B - 23 Août 2016

5.3.4.1 - Données préalables

Préalablement aux essais, les 29/06 et 01/07, une opération de charge automatique et un « test long » d'acquisition ont été effectués. La charge totale récupérée était de 24,22 kg alors que la charge plaquée était de 26,15 kg. La charge automatique a abouti à une charge proche des quantités installées, de 24,58 kg.

Charge_ référence _B = 24,58 kg

Le « test long » d'acquisition a été réalisé en 2h 37 min.

Tableau 26 - Synthèse des informations sur la charge de l'installation DRV du site de l'immeuble B

Charge plaquée (kg)	26,15
Charge nominale (kg)	10,4
Complément de charge à la mise en service (kg)	15,75
Charge récupérée avant charge automatique (kg)	24,22
Perte (kg)	1,93
Perte (%)	7 %
Charge automatique = charge de référence (kg)	24,58
Surcharge initiale (kg)	1,57
Surcharge initiale %	6 %

5.3.4.2 - Test 5 - avec charge complète

Pour des questions d'organisation, les essais débutent par la vérification de la capacité du système à détecter une absence de fuites.

Conditions d'essais

Après une période de 30 minutes de fonctionnement en mode chaud, le test de détection de fuites est lancé en mode froid, sans décharge préalable.

	Température extérieure	Température intérieure
Initiale	23,1 °C	25,6 °C
Finale	23,7 °C	23,9 °C



Résultats du test d'étanchéité sans décharge

Quantité soutirée	0 (sans décharge)
Durée du test de fuite	48 min
Repérage de l'absence de fuite	oui
Code obtenu	L01
Code attendu	L01
Evaluation de la quantité perdue	exacte

Ce résultat confirme celui du test 3 et la capacité du système de détection à repérer une situation normale, sans fuite.

5.3.4.3 - Test 6 - décharge 5 %

Etant donné que, lors de la première journée d'essai, le système a montré sa capacité à détecter une fuite équivalente à 5 % de la charge, il est choisi de commencer par un test à ce niveau afin de pouvoir évaluer le fonctionnement du système, si le test s'avère positif, sur un niveau de perte plus faible.

Conditions d'essais

Après un préchauffage de 30 minutes, un soutirage de 5 % de la charge totale est réalisé et le test d'étanchéité est lancé en mode froid.

	Température extérieure	Température intérieure
Initiale	24,6 °C	26,9 à 27°C
Finale	26,5 °C	25 °C

Résultats du test d'étanchéité après décharge de 5 %

Quantité soutirée (5 %)	1,215 kg
Temps de décharge	10 min
Durée du test de fuite	46 min
Repérage de la fuite	oui
Code obtenu	L04 (perte de 1,5 à 2 kg)
Code attendu	L03 (perte de 1 à 1,5 kg)
Evaluation de la quantité perdue	Surestimation

Les résultats de ce test montrent que la fuite est repérée. Le code obtenu conduit à une légère surestimation de la fuite, pouvant être de 0,3 à 0,8 kg, mais plus faible que lors des tests de la première journée. Il est donc possible que le code L05 obtenu au test 2 ait été influencé par le résultat du test 1.

5.3.4.4 - Test 7 - avec charge complète (reprise des conditions initiales)

Conditions d'essais

La quantité précédemment soutirée est rechargée et il est procédé à un fonctionnement du DRV de 30 minutes en mode chaud avant le test d'étanchéité. A noter, la pesée de la bouteille et des flexibles après recharge montre qu'une quantité de 40g de fluide ou d'huile a été piégée dans la bouteille.

	Température extérieure	Température intérieure
Initiale	27,6 °C	25,8 °C
Finale	32 °C	26 °C



Résultats du test d'étanchéité après recharge complète

Quantité soutirée	0 (recharge complète à 40g près)
Temps de recharge	10 min
Durée du test de fuite	1h20
Repérage de l'absence de fuite	oui
Code obtenu	L01
Code attendu	L01
Evaluation de la quantité perdue	Exacte

Le test 7 confirme le retour aux conditions initiales et que le code L01 est à nouveau obtenu en cas de charge égale à la charge de référence (aux 40 g près).

5.3.4.5 - Test 8 - décharge 3 %

Conditions d'essais

Etant donné le bon repérage de la fuite pour une décharge de 5 %, le système de détection est évalué sur une perte inférieure, de l'ordre de 3 %. Etant donné que le DRV a fonctionné en mode chaud puis froid durant plus de deux heures à pleine charge lors du test précédent et que la température intérieure à la fin de l'essai est de 26 °C, un nouveau fonctionnement en mode normal n'est pas reconduit. Les conditions initiales du test 8 sont les suivantes :

	Température extérieure	Température intérieure
Initiale	32,5 °C	25,7 °C
Finale	34,2 °C	25,1 °C

Résultats du test d'étanchéité après décharge de 3 %

Quantité soutirée (3 %)	0,740 kg
Temps de décharge	15 min
Durée du test de fuite	40 min
Repérage de la fuite	non
Code obtenu	L01 (perte de 0 à 500g)
Code attendu	L02 (perte de 500 g à 1 kg)
Evaluation de la quantité perdue	Sous-estimation

Le système de détection n'a pas constaté la perte de fluide dans le test 8, après le soutirage de 740g représentant 3 % de la charge de référence.

Il peut être remarqué que, lors du test 2, la perte de 630 g de fluide avait été signalée par le système de détection. Plusieurs explications peuvent être envisagées :

- La perte repérée dans le test 2, bien que de seulement 630 g, représentait alors 5 % de la charge de référence, l'écart pourrait donc être lié aux différences de charge nominale des cas tests. Le système de détection serait donc à même de repérer 5 % de perte de la charge de référence, indépendamment de la quantité que cette part représente.
- Une autre possibilité est que le résultat du test 2 ne soit pas fiable étant donné qu'il a été réalisé à la suite d'un test avec une perte de fluide plus importante, sans reprise des conditions initiales (même si la période de 30 minutes de fonctionnement normal du DRV a bien été respectée avant le test).

Pour pouvoir conclure, il serait nécessaire de refaire le test 2 à la suite d'un test à charge complète.



5.3.4.6 - Test 9 - décharge 10 %

Dans le temps imparti, il était envisageable de réaliser un test supplémentaire durant la deuxième journée d'essai, mais sans pouvoir refaire un test à charge complète. Il a été choisi d'étudier le cas d'une fuite représentant 10 % de la charge de référence, en supposant que l'impact de l'essai précédent serait négligeable étant donné qu'on poursuivait la décharge de façon croissante.

Conditions d'essais

A la fin du test 8 la décharge est poursuivie de façon à soutirer 10 % de la charge de référence.

	Température extérieure	Température intérieure
Initiale	34 °C	24,3 à 24,8 °C
Finale	35 °C	25 °C

Remarque : Il le test de détection a été enclenché une première fois alors que la période de fonctionnement du DRV avait été omise. Cinq minutes après le début du test, la fonction est arrêtée et le DRV est mis en fonctionnement normal durant 20 minutes. Le test d'étanchéité est alors réalisé en mode froid.

Résultats du test d'étanchéité après décharge de 10 %

Quantité soutirée (10 %)	2,47 kg
Temps de décharge	15 min
Durée du test de fuite	32 min
Repérage de la fuite	Oui
Code obtenu	L05
Code attendu	L05
Evaluation de la quantité perdue	Exacte

Ce dernier test fait apparaître un résultat doublement positif : la fuite est détectée et son niveau est bien évalué par le code de détection (L05). Il peut être remarqué que le code résultant (L05) est le même que celui obtenu au Test 1, dans le cas d'une décharge de 10 % également. Dans ce dernier cas, il présentait un écart avec le code attendu (L03) car la charge nominale de la première installation était plus faible.

5.3.4.7 – Test 10 - vérification de la charge automatique

La dernière opération consiste en une décharge complète afin de vérifier la valeur de la charge de référence, celle-ci ayant été établie plusieurs jours auparavant. Comme pour la première opération, ce test permettra de s'assurer qu'il n'y a pas eu de fuite depuis l'opération de charge automatique et de test long réalisés un mois et demi plus tôt.

Conditions d'essais

L'installation est complètement déchargée de son fluide frigorigène. Afin d'accélérer le processus de soutirage la décharge est réalisée en mode chaud avec deux groupes de transfert et deux bouteilles de transfert. Pour réduire la pression dans les bouteilles, étant donné la température extérieure élevée, les bouteilles sont placées dans un bac d'eau froide. Une descente en pression jusqu'à 250 mbar abs est assurée afin de récupérer la quasi-totalité du fluide présent dans l'installation. La comparaison des pesées de la bouteille de transfert permet de quantifier la quantité de fluide frigorigène éventuellement piégée.

T_{ext}: 33°C



Résultats du test d'évaluation de la charge

Quantité soutirée	24,400 kg
Temps de décharge	1h30
Quantité attendue	24,580 kg
Ecart (g)	180 g
Ecart (%)	0,7 %

L'écart obtenu entre l'évaluation par pesée de la quantité totale déchargée et celle donnée par la charge automatique peut être liée à une erreur de pesée ou, plus probablement, à une décharge incomplète de l'installation lors de la dernière opération, liée à la limite de la descente en pression des groupes de transfert. Cependant, l'écart est très faible, de l'ordre de 0,7 %, la charge automatique peut être validée.

5.3.5. Conclusions

Le tableau suivant récapitule les résultats des essais des tests d'étanchéité réalisés par le CES les 18 et 23 Août 2016 sur les deux installations DRV des immeubles A et B.

Tableau 27 – Bilan des résultats de tests d'étanchéité

N° Test	tests CES J1			tests CES J2					11	1
	1	2	3	5	6	7	8	9		
Text initiale	20	22	24	23,1	24,6	27,6	32,5	34	18,5	20
Text finale	21	22	22,4	23,7	26,5	32	34,2	35	18,5	20
Tint initiale	23,5	26,5	26,5	25,6	27	25,8	25,7	24,5	25,4	24
Tint finale	23,3	22,7	23,5	23,9	25	26	25,1	25	20,3	22
Charge de référence	12,61	12,61	12,61	24,58	24,58	24,58	24,58	24,58	24,58	24
Quantité déchargée %	10%	5%	0%	0%	5%	0%	3%	10%	0%	5%
Quantité déchargée kg	1,3	0,63	0	0	1,215	0	0,74	2,47	0	1
existence (ou absence) fuite identifiée	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	oui	o
code obtenu	L05	L05	L01	L01	L04	L01	L01	L05	L01	L
code attendu	L03	L02	L01	L01	L03	L01	L02	L05	L01	L
écart (kg)	0,7 à 1,2	1,4 à 1,9	0	0	0,3 à 0,8	0	0,5 à 1	0	0	0,2
temps du test étanchéité (min)	90	80	65	48	46	80	40	32	56	5
Remarque	1er essai J1	complément de charge après test1 Pas de retour aux conditions initiales	RAS	1er essai J2	1ère décharge	recharge complète intermédiaire	RAS	RAS	RAS	R

Remarque 1 : Dans notre interprétation des résultats, il est considéré que le code L01 est équivalent à une absence de fuite, même si, dans le manuel, il équivaut à une perte de fluide comprise entre 0 et 500 g.

Remarque 2 : les temps de réalisation des tests d'étanchéité observés ont été très variables et la relation avec la quantité déchargée n'apparaît pas.

Les résultats des essais sur site, récapitulés au Tableau 27, ont montré que le modèle de détection intégré au DRV testé est:

- Capable de détecter une perte de fluide frigorigène équivalant à 5 % ou plus de la charge nominale de l'installation (tests 1, 2, 6, 9, 12, 13).
- Capable d'attester d'une absence de fuites (tests 3, 5, 7, 11 réalisés à pleine charge) sur le DRV ;
- Caractérisé par une bonne répétabilité : les résultats obtenus pour différents tests sur des situations identiques (tests 12 et 13 d'une part, tests 3, 5, 7, 11 d'autre part) se sont révélés identiques en termes de code obtenu.

Les codes de détection ne permettent pas d'indiquer précisément le niveau de la fuite dans tous les tests. Cependant, les écarts observés entre le code attendu et le code obtenu restent relativement faibles, excepté



dans un cas (test 2) où les conditions initiales pourraient remettre en question la validité des résultats du test. Un test a permis d'obtenir le bon code de fuite, il s'agit du cas correspondant à la plus grande perte de fluide, de 2,5 kg (test 9).

Il peut être souligné que le plus important est que la fuite soit signalée à l'opérateur. Que les petites fuites soient surestimées par le système ne constitue pas un problème majeur pour l'intervention de l'opérateur lors de sa recherche. Ce système présente d'autres intérêts pour l'opérateur : il ne donne pas de messages erronés concernant l'existence de fuite et évite de procéder à une manipulation de fluide pour évaluer la charge et l'éventuelle perte par rapport à la charge nominale. L'élimination de cette étape permet également de limiter le risque d'émissions.

Les résultats tendent à montrer que le système de détection proposé permet de répondre à l'une des exigences du dernier arrêté français relatif aux systèmes de détection de fuites de fluides frigorigènes. Il est en effet demandé que les méthodes de détection indirectes soient capables de détecter une perte de fluide inférieure à 10 % de la charge installée.

Cependant, les dispositifs évoqués par cette réglementation doivent être permanents et reliés à une alarme. Il pourrait donc être intéressant de programmer des tests de détection quotidiens et de lier le système à une alarme afin de s'approcher du fonctionnement des systèmes experts évoqués par la réglementation.



6 - Essais sur contrôleurs d'ambiance

En accord avec le groupe de suivi de l'étude, étant donné le temps imparti pour la réalisation des tests de terrain, la priorité a été donnée aux essais sur les systèmes experts, ces systèmes étant méconnus et peu de données étant disponibles. Aussi, les tests réalisés sur les contrôleurs d'ambiance ont-ils été réduits à deux journées sur un site de chillers équipés de contrôleurs multi sondes performants (seuil de détection à 1ppm) à technologie Infra Rouge. Les résultats obtenus sont tendancieux. Ils visent à donner des précisions sur l'impact de la position des sondes et de l'écoulement d'air sur l'évolution des concentrations mesurées et la détection des fuites.

6.1. Principe des essais

Les essais sur contrôleurs d'ambiance consistent en :

- l'utilisation d'une fuite calibrée et en l'émission de R-134a à un débit maîtrisé pour évaluer le temps de détection mis par le contrôleur d'ambiance pour repérer la fuite.
- la visualisation de l'écoulement d'air visualisé à l'aide de fumigènes et à sa comparaison avec la position des sondes d'aspiration du contrôleur d'ambiance.

6.2. Essais Chillers

6.2.1. Description du site et de l'installation

Des essais sur les contrôleurs d'ambiance équipant les installations de chillers centrifuges de 100 MW, dont la charge est de 48 t de R-134a ont été réalisés sur deux journées dans deux halls différents afin de tester les contrôleurs d'ambiance dans deux types de situations : des parties confinées, des parties plus ventilées.



Figure 18 – Partie du hall ventilée (armoire variateur)



Figure 19 – Parties confinées

Les contrôleurs d'ambiance utilisés sont des contrôleurs multi voies (jusqu'à 16) de haute précision utilisant une technologie photo-acoustique infra rouge, ayant un seuil de sensibilité de 1ppm. Le réglage de l'alarme est possible entre 3 et 100ppm.

Installation classée IPCE, le site bénéficie d'une maintenance très fréquente et une forte collaboration détenteur/ opérateur/ fabricant (du contrôleur d'ambiance) ont permis de fortement améliorer les taux d'émissions des chillers sur les 10 dernières années.

Installés en 1999, les contrôleurs d'ambiance ont déclenché beaucoup d'alertes et permis de réparer de nombreuses "petites fuites" les premiers mois. Deux zones ont été identifiées comme étant principales sources de fuite : les garnitures et les soupapes. Des actions de maintenance préventives sont constatées sur site (Figure 20) : tels que des scotchs posés sur les brides de soupape (méthode d'enveloppement).





Figure 20 – Maintenance préventive au niveau des soupapes

L'utilisation du contrôleur d'ambiance est fortement étudiée et améliorée. Récemment, l'ajout de capteurs au niveau des soupapes au niveau de l'un des groupes a permis d'améliorer les taux d'émissions (passage de 5 à **3 %**). Actuellement, une difficulté rencontrée est l'aspiration d'huile par les sondes et la mise en place de filtres est envisagée.

Dans le hall, la plupart des sondes sont protégées d'un couvercle métallique pour prévenir le risque de casse, ce qui pourrait aussi favoriser l'accumulation du fluide frigorigène en cas de fuite. Certains capteurs sont placés en fonction des "zones à risque", par exemple pour le contrôle de la garniture.

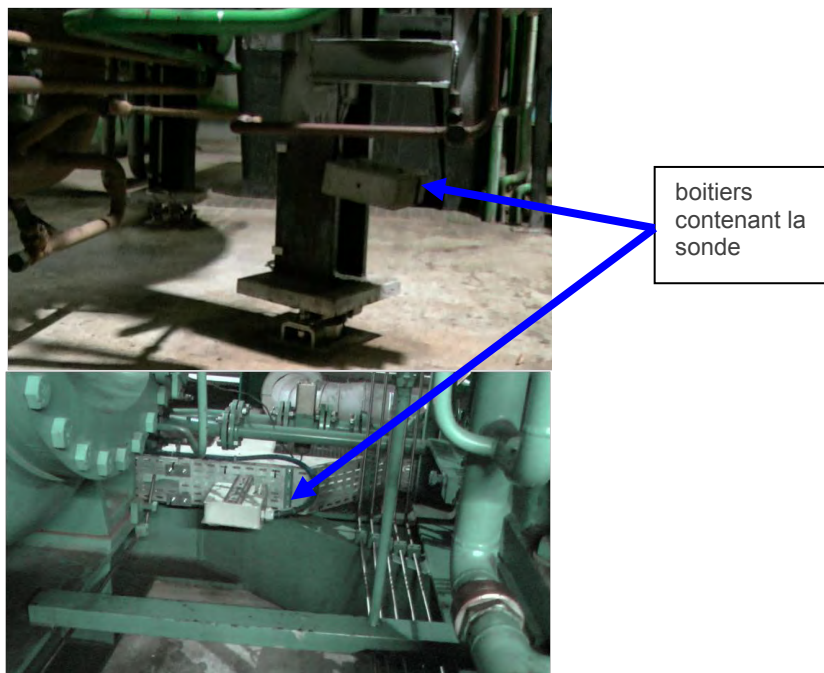


Figure 21 – positionnement des sondes d'aspiration dans des boitiers protecteurs

Deux contrôleurs d'ambiance seront testés lors de ces essais : dans une première zone est situé un groupe et un contrôleur d'ambiance avec 7 sondes lui est dédié. Dans une seconde zone, un hall abrite 6 groupes froids et une réserve, les différents contrôleurs d'ambiance sont centralisés sur un même écran de contrôle. Il existe deux armoires de surveillance : l'une pour les 7 groupes et la réserve, l'autre est dédiée pour les soupapes (installée dans un deuxième temps).





Figure 22 – Ecran de contrôle des 6 groupes et du réservoir

6.2.2. Procédure d'essais

Les essais sont réalisés sur deux aspects. Premièrement l'écoulement d'air autour des chillers est étudié par visualisation de l'évolution d'un gaz fumigène comme le montrent les photos ci-dessous. L'objectif est de vérifier que le positionnement des sondes est adapté à l'écoulement d'air.

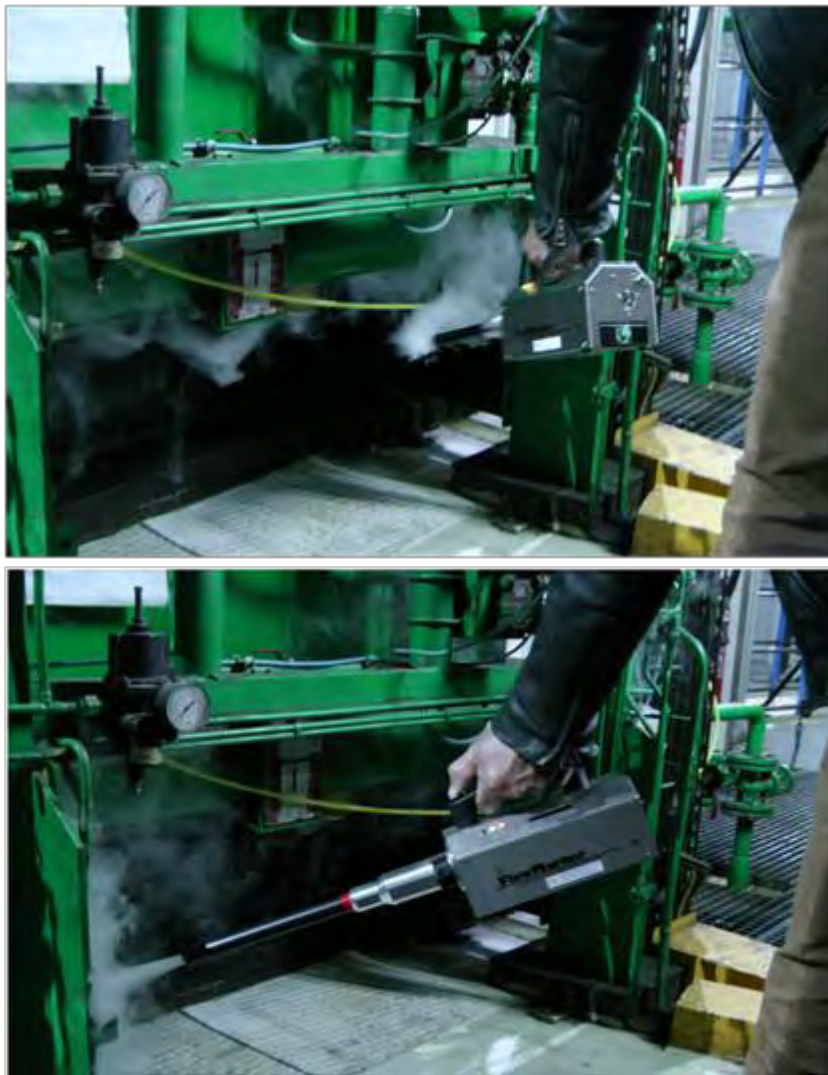


Figure 23 – Utilisation d'un fumigène pour visualiser l'écoulement d'air



La deuxième partie de l'essai consiste à simuler une fuite à l'aide d'une fuite calibrée de R-134a à partir d'une bouteille de R-134a et d'une vanne micrométrique. Le tout est pesé sur une balance précise au millième. A l'aide d'un chronomètre, on vérifie les débits de fuite en g/min et on mesure les temps nécessaires au déclenchement de l'alarme.

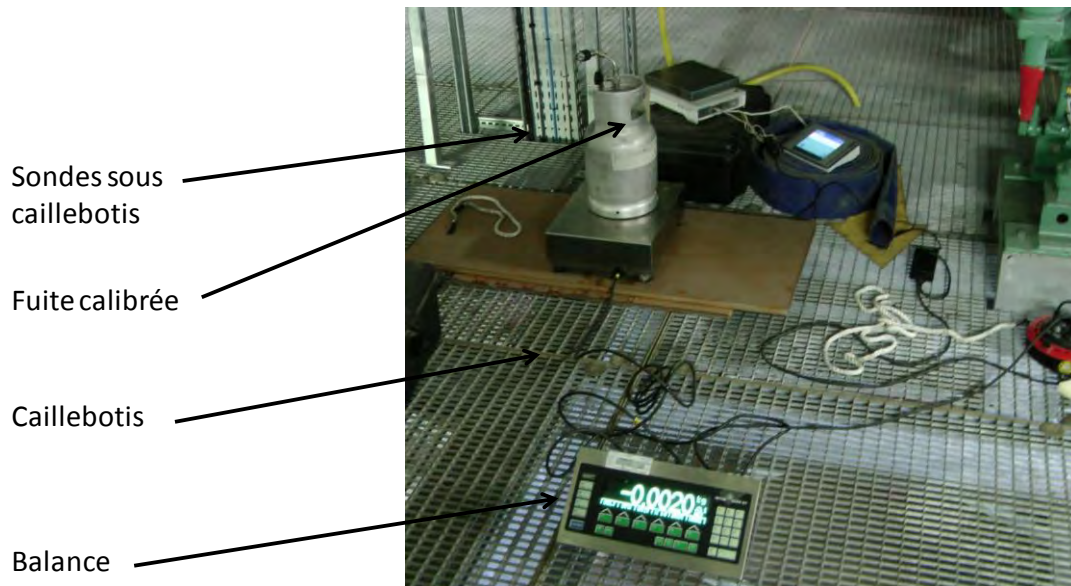


Figure 24 – Fuite calibrée placée sur la balance

6.2.3. Tests fuites calibrées sur le groupe isolé

6.2.3.1 – Configuration

Ce groupe est un réservoir de R-134a sur peson : il s'agit de la réserve (lieu où est déchargée l'installation en cas de maintenance, les charges se font également par ce biais). L'installation est posée sur caillebotis. Le mur à proximité est une paroi froide. La zone est fraîche (14°C).



Figure 25 – Première zone d'essai : réserve sur caillebotis

Le contrôleur d'ambiance permet de visualiser l'évolution de la concentration mesurée par chacune des sondes. Il est réglé de façon à déclencher une pré-alarme à 10 ppm et une alarme à 100 ppm. Pour cet essai l'alarme est réglée à 10 ppm afin de pouvoir obtenir des résultats dans la journée.





Figure 26 – tubes d'aspiration reliant les sondes au contrôleur



Figure 27 – sonde d'aspiration

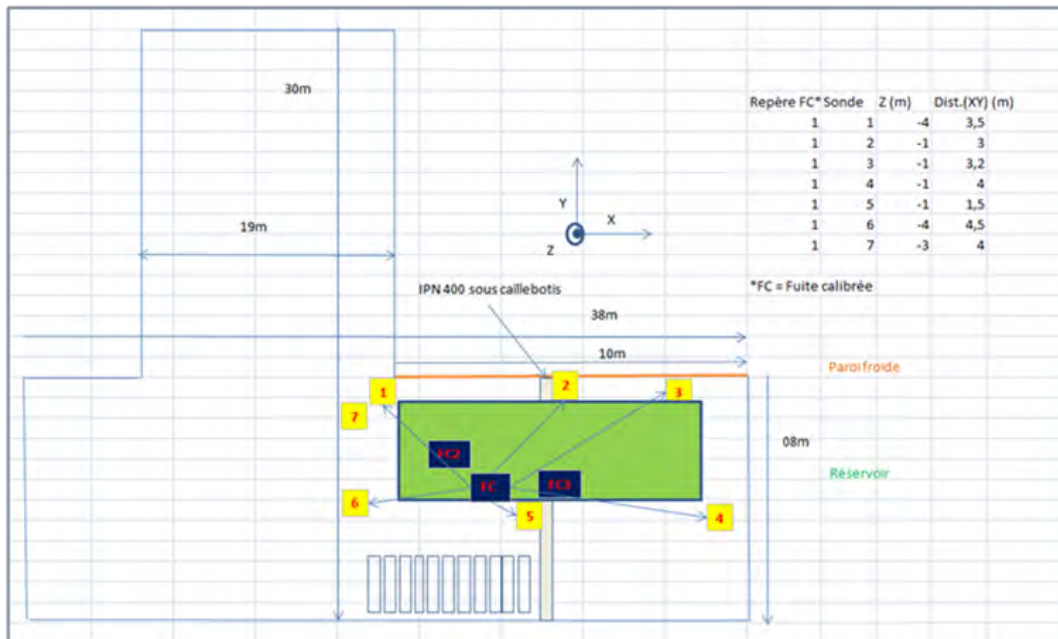


Figure 28 – localisation des 7 sondes du contrôleur d'ambiance sur le site du groupe isolé



S4: Sonde N°4 sous caillebotis au plafond côté couloir



Sonde N°7 - Sous caillebotis position sol près du mur



S6: Sonde N°6 sur la gaine d'extraction d'air incendie

6.2.3.2 – Niveaux de fuite

Les niveaux de fuite testés sont :

- Test 1: débit=100g/an

Ce niveau de 0,01g/h n'est pas réalisable à cause d'un problème de mise à 0 de la balance la plus sensible. L'essai est abandonné.



- Test 2: la fuite est positionnée à 1m du capteur S5 en 50 cm au-dessus, sur un débit à 0,1g/min (ou 50kg/an).
- Test 3: même débit qu'au test 2 mais en positionnant la sonde 5 au-dessus du caillebotis
- Test 4: dans la configuration du test 3, le débit est augmenté à 0,5g/min
- Test 5: on déplace la fuite sous le réservoir, orientée vers le mur à 1m50 de S5 pour un débit à 1,5 g/min.

6.2.3.3 – Résultats

Les tests fumigènes ont fait apparaître des stagnations. Il y a peu de renouvellement d'air. Les essais à différents endroits montrent que :

- le caillebotis ralentit l'écoulement : le fumigène stagne au dessus ;
- sous le caillebotis, un écoulement apparaît vers une bouche d'aération montrant le positionnement favorable de la sonde N°4.



Figure 29 – écoulement fumigène vers la bouche d'aération, sous le caillebotis

Les premiers tests ne permettant pas de voir en 1 une évolution de la concentration sur aucune des sondes, à partir du deuxième essai, la sonde la plus proche de la fuite calibrée (S5) est remontée au-dessus du caillebotis

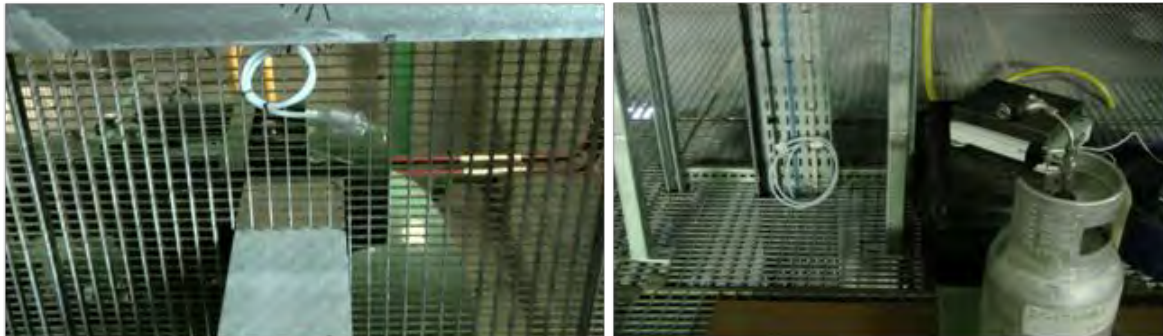


Figure 30 – Evolution du positionnement de la sonde 5 (avant à gauche, après, à partir du test 3, à droite)

Les graphes suivants montrent les résultats de concentrations mesurées par les différentes sondes pour les tests avec différents débits de fuite.



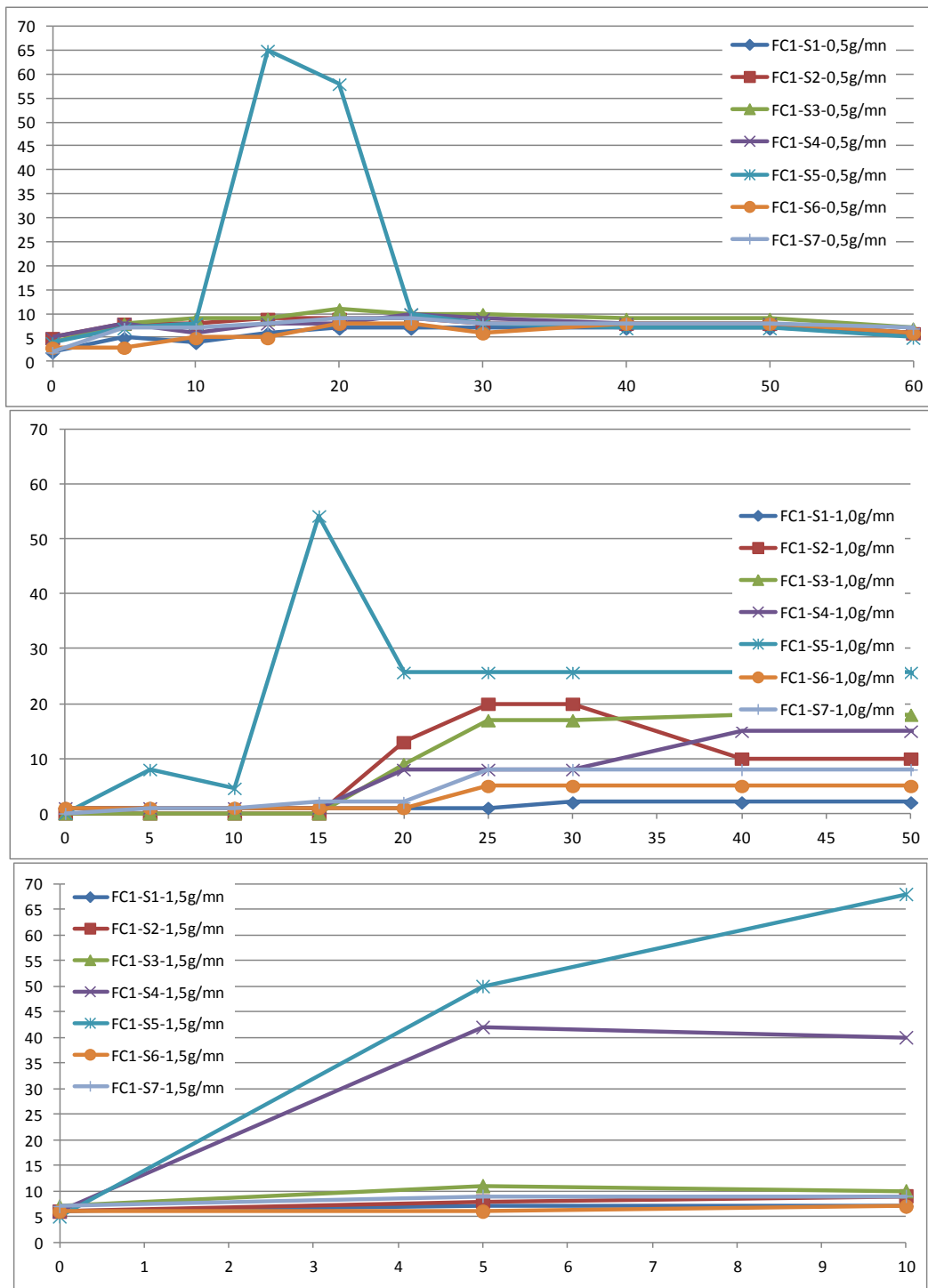


Figure 31 – Evolution des mesures de concentration par sonde (Test 4 et Test 5)

Les courbes montrent que :

- La sonde la plus proche donne l'alerte le plus vite, quelle que soit l'orientation de la fuite ;
- Dans les angles morts, la concentration tend à augmenter ;
- Le caillebotis et les poutres IPN ont une influence sur l'écoulement et retardent la détection. On observe un fort impact sur les concentrations mesurées par les sondes lorsque l'on remonte les sondes au-dessus du caillebotis (vérifié dans 2 cas pour les sondes S5 et S2).
- Au bout d'un certain temps d'essai, les mesures se stabilisent pour que les taux de fuite s'affaiblissent. Ce qui montre l'intérêt d'avoir l'historique des concentrations pour analyser s'il y a une fuite.
- Les sondes basses au niveau du sol donnent l'alarme en fin d'essai, le R-134a étant plus lourd que l'air.
- le passage des personnes joue sur l'écoulement d'air et rend instable la mesure (momentanément).



6.2.4. Tests sur les groupes du hall plus ventilé

Dans le second hall, plusieurs tests de courtes durées ont été réalisés afin de tester la réaction des sondes à la fuite calibrée (début de croissance de la concentration mesurée) pour différentes positions de la fuite calibrée (exemples Figure 32).



Figure 32 – Exemples de positions de la fuite calibrée au cours des tests

Le hall est très vaste et abrite en effet 6 groupes froids et une réserve, certains espaces sont très ventilés, notamment autour de l'armoire du variateur. Les contrôleurs d'ambiance sont centralisés sur un même écran de contrôle. Pour chaque chiller, deux sondes d'aspirations sont posées, recouvertes partiellement de boîtiers de protection (Figure 33). La concentration affichée par chiller correspond à une moyenne des mesures des deux sondes.

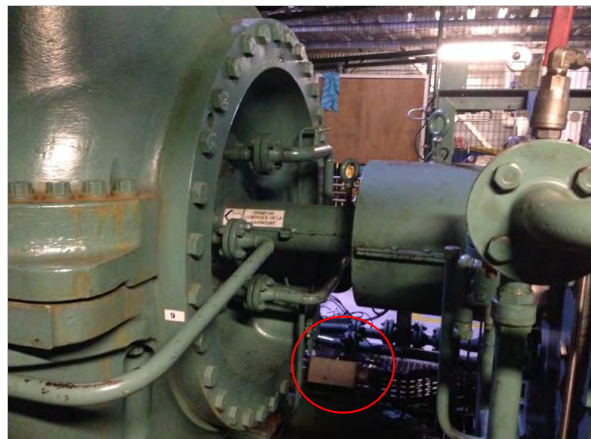


Figure 33 – Position des sondes d'aspiration protégées par un boîtier

Comme lors de l'essai précédent, une comparaison est faite entre le positionnement des sondes et l'évolution de l'écoulement visualisé à l'aide du fumigène.

Il ressort des tests que :

La zone sous l'arbre moteur est une zone de stagnation de l'écoulement d'air où il est adapté qu'au moins une des sondes soit placée (Figure 34) ; l'usage du fumigène peut permettre d'optimiser la position de la sonde. La



concentration mesurée par les sondes placées dans cette zone est sensible aux fuites simulées à proximité. Pour des positions éloignées, le temps imparti aux essais ne permet pas de conclure. En cas de zone ventilée, les sondes placées à l'avant du chiller, même protégées du boîtier, ne permettent pas d'observer une variation de la concentration d'une fuite placée à proximité.



Figure 34 – visualisations de l'écoulement d'air à l'aide du fumigène

6.3. Test sur contrôleur d'ambiance en hypermarché

Lors des tests sur système expert en hypermarché et en entrepôt, les contrôleurs d'ambiance présents en salle des machines ont été observés. Il ressort que :

- Les seuils de sensibilité affichés sur le boîtier sont de 100 ppm, soit trop élevés si on les compare aux concentrations observées au niveau des sondes d'aspiration lors de la simulation d'une fuite (Figure 34) ;
- Seulement deux sondes d'aspiration par salle des machines ont été dénombrées, à côté de chaque réservoir.
- Les contrôleurs d'ambiance installés n'ont pas d'écran de contrôle permettant de voir l'évolution des concentrations par sonde ;
- Lors de l'essai en hypermarché, l'alarme s'est déclenchée lorsque la fuite calibrée a été positionnée à moins de 5 cm de l'un des deux capteurs mais l'autre capteur n'a pas réagi, semblant ne pas fonctionner ;

6.4. Conclusions

On observe une grande différence entre les contrôleurs d'ambiance utilisés pour la détection de fuites tels que ceux présents sur les installations de chillers centrifuges testées et ceux installés par obligation, pour des questions de sécurité, comme en salle des machines de froid commercial. Dans un cas il s'agit d'un contrôleur de gaz, dans l'autre d'un contrôleur d'ambiance. Ils n'ont pas la même sensibilité, la même possibilité d'analyse des évolutions des concentrations par sonde, ni les mêmes réglages et utilisation par les opérateurs et détenteurs.

On a pu observer que, lorsqu'une coopération est établie entre l'opérateur et le détenteur en vue d'utiliser, pour l'amélioration des fuites, un contrôleur d'ambiance de haute qualité (technologie infra rouge avec un seuil de sensibilité de 1ppm), la gestion des fuites est améliorée et le système de détection permet d'obtenir de très bons résultats dans le cas d'installations confinées. Dans le cas d'installations ventilées, l'utilisation du contrôleur d'ambiance est plus délicate, elle reste cependant possible si une analyse de l'écoulement d'air est établie, si les composants à risque de fuite sont répertoriés et si les sondes sont ainsi positionnées dans les meilleures conditions.



7 – Le contrôle d'étanchéité : temps et coût

Un des objectifs de l'étude était d'évaluer le temps et le coût des opérations de recherche de fuites. Pour ce faire, la démarche proposée consiste à :

- repérer les composants sujets à fuite identifiés dans la bibliographie ([9], [16], [18]), par l'étude des carnets de suivis des installations visitées dans le cadre de cette étude et par le retour d'expérience des opérateurs interrogés ;
- estimer, selon les retours de plusieurs opérateurs, le temps nécessaire au contrôle de l'étanchéité de ces composants.

Connaissant la composition de l'installation, en termes de composants clés, et, en attribuant un niveau d'accessibilité de ces composants, le calcul du temps nécessaire au contrôle d'étanchéité de l'installation peut être établi.

7.1. Points importants dans la recherche de fuite d'une installation frigorifique

L'étude Cemafruid Irstea [9] a établi un classement des composants ayant causé le plus de fuites de fluides frigorigènes. Il s'agit :

- Des vannes d'isolement
- Des Shraeder
- Des raccords Flare
- Des joints mécaniques et brides
- Des soupapes
- Des bouchons fusibles
- Des garnitures d'étanchéité des compresseurs
- Des condenseurs
- Des robinets
- Des pressostats
- Des joints toriques
- Des tubes capillaires,
- Des crosses d'évaporateurs

Mais aussi, selon les retours d'opérateurs de différents secteurs et les carnets de suivi des installations visitées, d'autres composants sont signalés :

- Les raccords de prise de pression dans les entrepôts frigorifiques,
- Les terminaux en froid commercial : chambres froides (évaporateurs), meubles frigorifiques de vente (évaporateurs), équipements connectés tels que les chambres de pousse (boucle positive) ou les machines à glace (boucle négative),
- Tout équipement présentant des traces de corrosion ou de détérioration,
- Toute brasure-soudure,
- Les équipements soumis à vibrations,
- Les filtres déshydrateurs,
- Les détendeurs, notamment dans les vitrines réfrigérées,
- Les raccords vissés et soudés, de manière générale,
- Les voyants, pour les équipements de climatisation,
- Les « orifices » pour les chillers,
- Les réservoirs,
- Les systèmes de détection de fuites !



7.2. Evaluation du temps nécessaire à la recherche de fuites

Un outil de calcul simplifié a été réalisé afin d'évaluer le temps nécessaire à la recherche de fuites d'une installation en fonction des composants clés à tester, de leur nombre et de leur accessibilité. La démarche proposée consiste à évaluer le temps d'un contrôle d'étanchéité par :

- La décomposition de l'installation en composants clés lors de la recherche de fuite. Il est proposé une décomposition entre trois blocs :
 - Partie principale : il s'agit de la salle des machines pour une installation centralisée, cela constitue l'ensemble de l'installation pour un système compact.
 - Partie extérieure (condenseurs) ou décentralisée (chambre froide par exemple) ;
 - Autre : type aire de vente ou d'entreposage.

Pour chaque partie, une liste de types de composants est proposée, l'opérateur devra renseigner le nombre de composants par type pour l'installation dont il souhaite évaluer le temps à passer pour la réalisation du contrôle d'étanchéité.

- Pour chaque famille de composants, l'opérateur doit globalement distinguer la part des composants facile d'accès (temps standard), de celle des composants moyennement ou très difficiles d'accès. Les temps de recherche pour ces dernières catégories sont pénalisés d'un facteur 1,5 et 2 respectivement.
- Des opérations supplémentaires pour les parties difficiles d'accès sont proposées (utilisation d'une nacelle par exemple), d'autres peuvent être ajoutées par l'opérateur, ainsi que le temps nécessaire à cette opération particulière.

A la suite des échanges avec le groupe de suivi de l'étude, la démarche suivante a été adoptée :

1. Proposition par les experts de l'étude d'une première version ;
2. Envoi à des opérateurs afin d'obtenir une validation de la liste des composants clés, du temps nécessaire à la recherche de fuites par composant, et du facteur correctif à appliquer en fonction de l'accessibilité du composant ;
3. Synthèse des retours et mise à jour des valeurs.

Une première version de la feuille de calcul est proposée à la Figure 35. Elle est issue d'une première proposition en termes de liste de composants et de temps à accorder à la recherche de fuites sur chacun d'entre eux, qui a été complétée et approuvée par différents opérateurs.

Parmi les commentaires des opérateurs ayant donné un avis sur la première proposition de feuille de calcul, il a été mentionné que :

- le fichier doit être plus simple pour être facilement utilisable par les opérateurs, en mettant clairement en évidence les paramètres à renseigner ;
- dans la pratique, dans le cas de composants difficilement accessibles, la plupart des opérateurs ne font pas la recherche de fuite sur ces parties, qui représentent environ 20 % des composants. Il pourrait être intéressant de distinguer deux parties : le temps nécessaire pour un contrôle standard, le temps nécessaire pour un contrôle complet, quelle que soit l'accessibilité.
- pour évaluer le temps à passer en chambre froide, il pourrait être proposé un temps de recherche de fuite par m². Un des résultats de la diffusion de ce fichier pourrait être d'aboutir, après un grand nombre de retours, à un temps moyen de recherche de fuite par m² par type d'installation.
- les « points avec marques de corrosion visibles » ne font pas partie des obligations réglementaires mais il est effectivement utile de les lister parmi les parties auxquelles il est nécessaire d'accorder du temps lors d'un contrôle d'étanchéité.
- les particularités de certaines installations peuvent être difficiles à prendre en compte, une catégorie « autres points sensibles » est proposée ainsi qu'une case « pénalisation » permettant d'augmenter le temps accordé aux « opérations supplémentaires ».



Un opérateur a proposé un temps de recherche par mètre de canalisation (5 minutes par mètre de canalisation) qui n'a pas été pris en compte mais qui pourrait remplacer le temps associé aux raccords sur la partie décentralisée, si cette description est plus aisée.

Certains suggèrent également de détailler les composants des chambres froides plutôt que d'attribuer un temps de recherche globalisé par m².

Type d'installation frigorifique		Ex supermarché				
		Colonnes à renseigner par l'utilisateur			colonne à valider par les opérateurs dans le cadre de la pré-étude	
Partie principale/ Salle des machines / ou Equipement compact	Nombre de composants	Facile d'accès	Moyennement accessible	Difficilement accessible	Temps standard recherche fuites (min)	TOTAL temps nécessaire (min)
Compresseurs (garniture)	4	50%	50%	0%	2	10
Brides et joints	2	50%	50%	0%	0,5	1,25
Raccords et autres connexions (bouchons fusibles, bouffons)	12	50%	50%	0%	0,5	7,5
Soupapes	8	50%	50%	0%	0,5	5
Vannes, robinets, shraeders	8	50%	50%	0%	0,5	5
Brasures soudures	10	100%	0%	0%	0,5	5
Prises de pression	8	50%	50%	0%	0,5	5
Filtres	2	50%	50%	0%	1	2,5
Réservoirs	2	50%	50%	0%	1,5	3,75
Voyants (si clim)	0	50%	50%	0%	2	0
Orifices (si chillers)	0	50%	50%	0%	2	0
Détendeurs (non délocalisés)	0	50%	50%	0%	3	0
Autres points sensibles à lister	0	50%	50%	0%	0	0
Temps en partie principale ou salle des machines (minutes)						45
Partie extérieure et partie décentralisée	Nombre de composants	Facile d'accès	Moyennement accessible	Difficilement accessible	Temps standard recherche fuites (min)	TOTAL temps nécessaire (min)
Condenseurs	2	50%	50%	0%	5	12,5
Raccords	8	50%	50%	0%	0,5	5
Points avec marques de corrosion visibles	5	50%	50%	0%	0,5	3,125
Chambre froide: surface en m2	30				0,5	15
Temps d'accès au toit & autorisation					10	10
Temps en partie décentralisée ou extérieure (minutes)						45,625
Autre espace type Aire de vente ou d'entreposage	Nombre de composants	Facile d'accès	Moyennement accessible	Difficilement accessible	Temps standard recherche fuites (min)	TOTAL temps nécessaire (min)
Vitrines réfrigérées de 2,5m	25	50%	50%	0%	2	62,5
Vitrines réfrigérées avec portes	10	50%	50%	0%	1,5	18,75
Vider les vitrines (personnel de nettoyage)	à la charge de l'exploitant				0	0
Recherche fuite détendeur	35	50%	50%	0%	1	43,75
re remplir les vitrines	à la charge de l'exploitant				0	0
Equipements spéciaux (ex: chambre de pouce)	5	50%	50%	0%	2	12,5
Raccords sur tuyauteries (+ difficiles à localiser)	50	50%	50%	0%	1	62,5
Autres points sensibles à lister		50%	50%	0%	1	0
Temps en partie autres espaces (minutes)						200
(coffres considérés circuits hermétiques)						
Opérations supplémentaires nécessaires au contrôle d'étanchéité des parties difficiles d'accès					Temps d'installation (min)	TOTAL temps nécessaire (min)
Démontage d'un faux plafond?	oui				60	180
Usage d'une gazelle	oui				15	180
Usage d'une nacelle	non				30	0
Nécessité de la mise en place d'un échaffaudage?	non	à la charge de l'exploitant			0	0
Autre pénalité d'accès: à renseigner en minutes	0				0	0

Figure 35 – Outil de calcul proposé pour l'évaluation du temps nécessaire à la réalisation d'un contrôle d'étanchéité



D'autres retours d'opérateurs sont en attente, ils permettront d'enrichir la liste des composants d'éventuelles particularités d'installations. Une **perspective** pourrait être de diffuser cette feuille à grande échelle pour test sur le terrain par des opérateurs sur différents types d'installations frigorifiques. L'approche proposée pourrait ainsi être améliorée (cas particulier de composants, temps moyens) et être personnalisée par type d'installation. La collaboration d'opérateurs pourrait permettre de comparer le temps réellement passé lors d'un contrôle d'étanchéité à celui prévu par la feuille selon la description donnée de l'installation.

7.3. Retours sur le coût d'un contrôle d'étanchéité

A la suite des entretiens avec différents opérateurs et détenteurs, il apparaît que le coût des contrôles d'étanchéité est sujet à controverses. Pour certains détenteurs, il est surfacturé par les opérateurs : comme ces contrôles sont obligatoires, les opérateurs leur facturent plusieurs journées par an sans pour autant y accorder le temps nécessaire. Pour certains opérateurs, le coût des contrôles d'étanchéité n'est pas accepté par les détenteurs qui souhaitent les inclure dans des forfaits annuels « tout compris », ce qui ne leur permet pas de réaliser le contrôle d'étanchéité tel qu'il devrait être fait.

Peu d'informations chiffrées nous ont été communiquées. Selon l'analyse des contrats de maintenance sur l'ensemble de ses entrepôts en France, réalisée par un détenteur ayant participé à l'étude, le coût d'un contrôle d'étanchéité varie entre 400 et 500€ par centrale frigorifique.



8 – Conclusions et préconisations

Contrôleurs d'ambiance et systèmes experts ont, par rapport aux autres détecteurs ou méthodes de détection de fluides frigorigènes, un grand avantage : la surveillance en continu des installations frigorifiques. Ils constituent en ce sens un complément indispensable au contrôle périodique d'étanchéité pour réduire les émissions de fluides frigorigènes.

A la présence d'un système expert ou d'un contrôleur d'ambiance doivent être associées l'optimisation de son utilisation et la gestion efficace de ses alarmes. Ces deux points impliquent une bonne collaboration entre le détenteur et l'opérateur, associés éventuellement au fabricant du système de détection, dans un souci commun d'amélioration de l'étanchéité de l'installation et de la prévention des fuites. Comme nous avons pu le voir lors de l'enquête de terrain, les installations dont les taux d'émissions annuels ont été fortement améliorés vérifient bien cette condition de collaboration et le contrat liant l'opérateur et le détenteur peut être adapté en ce sens.

La bonne mise en œuvre des systèmes de détection passe en partie par le juste paramétrage des seuils liés aux systèmes afin que la détection des fuites se fasse sans causer d'alarmes fictives ou intempestives qui peuvent être très pénalisantes par le manque de confiance qu'elles génèrent le plus souvent chez l'opérateur, surtout s'il n'a pas la main sur le dit paramétrage. Dans le cas du contrôleur d'ambiance, l'analyse de la configuration de l'installation frigorifique, des points de fuite récurrents et de l'écoulement d'air autour des composants doit aussi permettre d'optimiser le positionnement des sondes d'aspiration. Enfin, selon les types d'installations frigorifiques, l'un ou l'autre des systèmes de détection sera plus adapté.

Les systèmes experts ont été développés principalement pour les installations centralisées à détente directe du froid commercial et de l'agroalimentaire pour lesquelles le contrôleur d'ambiance ne peut assurer une détection (s'il est bien réglé et a une sensibilité suffisante) qu'en salle des machines. L'étude de terrain a montré que ces systèmes sont performants sur les « petites » fuites, de débit inférieur à 100g/h. Les tests sur des fuites croissantes de débit plus élevé font apparaître des résultats inégaux entre les deux systèmes experts et nécessiteraient des tests complémentaires. Les systèmes experts envoient des alarmes directement à l'opérateur, en donnant une indication sur le niveau de fuite, permettant une intervention rapide. Ces systèmes sont effectivement bien adaptés aux installations à détente directe lesquelles sont particulièrement sujettes aux fuites. En revanche, en l'état actuel des développements, les systèmes experts ne peuvent fonctionner qu'avec une installation frigorifique possédant un réservoir, qu'il soit vertical ou horizontal, ce qui réduit leur champ d'application. Des développements sont en cours pour étendre cette technologie à d'autres types d'équipement, notamment les installations de froid industriel à évaporateurs noyés ou à recirculation par pompe. Ces systèmes experts sont encore jeunes sur le parc français mais les retours des opérateurs sont globalement positifs et progressivement les opérateurs s'approprient les systèmes et les intègrent dans la gestion des fuites.

Un système de détection de fuites intégré à un équipement DRV de climatisation a également été testé sur le terrain. Il permet, avec un bon niveau de précision, d'évaluer la charge de l'installation et, par comparaison à une charge de référence, d'évaluer la présence d'une fuite. Ce système ne fonctionne cependant pas en continu et doit être activé par l'opérateur au moment de la maintenance. Ne disposant pas d'alarme, il ne répond pas à tous les critères demandés par l'arrêté de Juillet 2016 mais il est capable de détecter une perte de fluide inférieure à 10 % de la charge installée et constitue un bon outil pour le frigoriste dans la réalisation d'un contrôle d'étanchéité.

Les contrôleurs d'ambiance sont principalement adaptés aux installations peu ventilées cependant les derniers développements tendent à montrer des possibilités d'utilisation en extérieur. Comme l'a montré l'étude de terrain, les modèles de haute précision ayant un seuil de sensibilité à 1 ppm, soit à technologie infra-rouge sont efficaces. Leur efficacité doit être optimisée par la réalisation d'une étude d'implantation tenant compte des composants susceptibles de fuir et d'une visualisation de l'écoulement d'air autour de l'installation. Les autres types de contrôleurs d'ambiance ne sont pas utilisables/utilisés pour la détection de fuites de fluides frigorigènes.



Tableau 28 – Adéquation des systèmes de détection de fuites aux différents types d’installations frigorifiques

Type d’installation	Secteur d’application	Utilisation d’un système expert	Utilisation d’un contrôleur d’ambiance	Autres méthodes de détection	Remarque
Centralisée directe	Froid commercial Certains secteurs du froid industriel Entrepôts	****	**		
Centralisée indirecte	Froid commercial Certains secteurs du froid industriel Entrepôts	****	***		
Chillers	Climatisation Froid industriel	—	***		
Groupes de condensation	Petit froid commercial	***	***		< 500t eq. CO ₂
Systèmes à évaporateurs noyés	Froid industriel	*	**	*	
DRV	Climatisation tertiaire	—	**	****	Systèmes experts intégrés sans alarme
Rooftop	Climatisation commerciale	*	***	*	
Autres	Patinoires	*	**		

- **** : tout à fait adapté
- *** : adapté dans la plupart des configurations
- ** : adapté pour une partie de l’installation
- * : en cours de développement
- : pas adapté

Dans le

Tableau 28, les possibilités d’utilisation des systèmes experts et/ou contrôleurs d’ambiance sont listées, par secteur d’application. Il ressort que pour plusieurs secteurs, le contrôleur d’ambiance reste la seule option possible en méthode de détection continue. Il serait utile que la réglementation française en favorise à nouveau l’utilisation, en rendant obligatoire les modèles à haut seuil de sensibilité bénéficiant d’une étude d’implantation. Par ailleurs, des études sont en cours pour adapter les systèmes experts existants aux installations de climatisation ou au froid industriel.

Enfin, l’étude a permis de proposer une démarche pour la réalisation d’un outil de calcul du temps nécessaire au contrôle d’étanchéité d’une installation frigorifique en fonction du nombre d’éléments clés de composants « à risque » et de leur accessibilité. Les temps nécessaires par composant ont été établis grâce aux informations fournies par plusieurs opérateurs.



Références bibliographiques

- 1 Règlement (CE) N° 1516/2007 de la Commission du 19 Décembre 2007 définissant, conformément au règlement 842/2006 du Parlement européen et du Conseil, les exigences types applicables au contrôle d'étanchéité pour les équipements fixes de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur contenant certains gaz à effet de serre fluorés. Publié au Journal officiel de l'Union Européenne le 20/12/2007.
- 2 Arrêté du 7 Mai 2007 du Ministère de l'Ecologie et du Développement durable relatif au contrôle d'étanchéité des éléments assurant le confinement des fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques. Publié au Journal officiel de la république française du 8 Mai 2007.
- 3 Arrêté du 29 Février 2016 relatif à certains fluides frigorigènes et aux gaz à effet de serre fluorés paru au JO di 10 Mars 2016. Modifié par l'arrêté du 25 Juillet 2016.
- 4 X.Cazauban, J.Pioger, CETIM (Centre Technique des Industries Mécaniques). Détection de fuite: méthodes directes et indirectes. Colloque Effet de Serre VII, AFCE, 15 Octobre 2009, Courbevoie.
- 5 NF EN 378 -2016 « système de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d'environnement » Parties 1 à 4
- 6 Norme NF EN 16084 « système de réfrigération et pompes à chaleur – qualification des composant et des joints »
- 7 NF EN 14624 -2012 *Performances des détecteurs de fuite mobiles et des contrôleurs d'ambiance de fluides frigorigènes halogénés*
- 8 Ashrae 173-2012 « *Method of Test to Determine the Performance of Halocarbon Refrigerant Leak Detectors* »
- 9 Etude sur le confinement des fluides frigorigènes – Réalisée par le Cemafruid et l'IRSTEA pour le compte de l'AFCE et de l'ADEME - Juin 2015 - Cemafruid
- 10 D.Clodic, Zéro fuite : limitation des émissions de fluides frigorigènes, 1997.
- 11 Une centrale d'alarmes multivoies et multifluides, RPF Technique N°1050, Novembre 2016.
- 16 FMI Energy & Technical Service Conference, September 18-21 2005, Montreal Quebec, Ed Estberg, Raley's.
- 17 Une détection de fuites par mesures indirectes, RPF N° 1019, Octobre 2013.
- 18 Supermarket Refrigerant Leaks Perspective Edward R.Estberg, 2007.
- 19 I.Morgado, Analyse expérimentale des performances de trois analyseurs, CEP MINES-ParisTech, LNE, 2006.
- 20 Qualification de 10 détecteurs de fuites mobiles, Norme E-35422, F.Fayolle, D.Clodic, CEP MINES-ParisTech, 2000.
- 21 Au plus près de la fuite, RPF N°1026, Juin 2014.
- 22 Fiches techniques des différents types de détecteurs mobiles et contrôleurs d'ambiance.



Annexes

Annexe 1 - Texte de l'arrêté du 29 Février relatif à certains fluides frigorigènes et aux gaz à effet de serre fluorés /section 1 incluant les modifications définies par l'arrêté du 25 Juillet.

Note : en orange sont indiquées les modifications induites par l'arrêté du 25 Juillet 2016. En violet sont notées les références à la réglementation CE 1516/2007.

La ministre de l'environnement, de l'énergie et de la mer, chargée des relations internationales sur le climat,

Vu le règlement (CE) no 1516/2007 du 19 décembre 2007 définissant les exigences types applicables au contrôle d'étanchéité pour les équipements fixes de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur contenant certains gaz à effet de serre fluorés, notamment ses articles 4, 5, 6 et 7 ;

Vu le code de l'environnement, notamment les articles R. 543-75 à R. 543-123 ;

Vu l'arrêté du 30 juin 2008 relatif à la délivrance des attestations de capacité aux opérateurs prévues à l'article R. 543-99 du code de l'environnement

Arrête :

Section 1

Contrôle d'étanchéité des équipements frigorifiques, climatiques et thermodynamiques

Art 1er. – Aux périodes définies à l'article 4 du présent arrêté, le détenteur de l'équipement fait réaliser par un opérateur titulaire de l'attestation de capacité :

- les contrôles systématiques sur l'équipement décrits à l'article 4 du **règlement (CE) no 1516/2007** susvisé ;(joints, valves et tuyaux, joints d'étanchéité y compris sur séchoirs et filtres interchangeable, parties soumises à vibrations, connexions aux dispositifs de sécurité et de fonctionnement).
- la vérification des fiches d'intervention de l'équipement prévues à l'article R. 543-82 du code de l'environnement.

Le détenteur d'équipement fait réaliser par un opérateur titulaire d'une attestation de capacité le contrôle d'étanchéité prévu à l'article R. 543-79 du code de l'environnement :

- soit par une des méthodes de mesure directe ou par la méthode de chute de pression à l'azote définies à l'article 2 du présent arrêté, aux périodes définies à l'article 4 ;
- soit par une des méthodes de mesures indirectes définies à l'article 3 du présent arrêté.

Art 2. – I. – Les méthodes de mesures directes pouvant être utilisées pour la recherche de fuites sont les suivantes :

- déplacement d'un détecteur mesureur ou d'un détecteur électronique en tout point de l'équipement présentant un risque de fuite. Le détecteur est adapté au fluide frigorigène contenu dans l'équipement à contrôler ;
- application d'un produit moussant ou d'eau savonneuse à condition que l'ensemble des éléments de l'équipement soit accessible ;
- introduction d'un fluide fluorescent dans le circuit pour repérage à la lampe UV.

Si la configuration de l'équipement ne permet pas d'avoir accès à l'ensemble des points pouvant présenter un risque de fuite, il sera procédé à un contrôle d'étanchéité des seuls points accessibles et à un suivi des mesures de valeurs caractéristiques du confinement conformément aux normes NF EN 378-2:2012 et NF EN 378-3:2012.

Le seuil de détection des détecteurs mentionnés au deuxième alinéa du présent article est inférieur ou égal à cinq grammes par an. Le seuil de détection est mesuré selon la norme NF EN 14624:2012. Il est vérifié au moins une fois tous les douze mois.

II. – La méthode de chute de pression à l'azote est menée conformément à la norme NF EN 13184:2004.

Art. 3. – Un dispositif de détection de fuites **PAR MESURE INDIRECTE** est un dispositif permanent qui analyse au moins un des paramètres suivants :

- a) La pression ;
- b) La température ;
- c) Le courant du compresseur ;
- d) Les niveaux de liquides ;



e) Le volume de la quantité rechargée.

Le dispositif est relié à une alarme informant l'exploitant de tout défaut d'étanchéité détecté.

Les dispositifs de détection de fuite ~~ont un seuil de détection équivalent à trente grammes par an.~~ **sont conçus et mis en œuvre de façon à permettre le déclenchement de l'alarme au plus tard lorsque la fuite conduit à la plus grande des pertes mentionnées ci-dessous :**

50 grammes par heure ;

10 % du volume de fluide contenu dans l'équipement.

Toute présomption de fuite de fluide frigorigène donne lieu à une recherche de fuites par méthode de mesures directes :

~~dans les meilleurs délais.~~

- **Dans un délai de douze heures si la charge de l'équipement est supérieure ou égale à 500 tonnes équivalent CO2 ;**
- **Dans un délai de vingt-quatre heures dans les autres cas.**

Les dispositifs de détection de fuite sont vérifiés au moins une fois tous les douze mois afin de garantir l'exactitude des informations relatives à la charge de fluide des circuits de l'équipement qu'ils fournissent.

Les dispositifs de détection de fuite

Art 4. – La période maximale entre deux contrôles prévus à l'article 1er est précisée dans le tableau suivant :

CATÉGORIE DE FLUIDE	CHARGE EN FLUIDE FRIGORIGÈNE DE L'ÉQUIPEMENT	PÉRIODE DES CONTRÔLES en l'absence de dispositif de détection de fuites (*)	PÉRIODE DES CONTRÔLES si un dispositif de détection de fuites (*) est installé
HCFC	2 kg ≤ charge < 30 kg	12 mois	
	30 kg ≤ charge < 300 kg	6 mois	
	300 kg ≤ charge	3 mois	
HFC, PFC	5 t.éq.CO2 ≤ charge < 50 t.éq.CO2	12 mois	24 mois
	50 t.éq.CO2 ≤ charge < 500 t.éq.CO2	6 mois	12 mois
	500 t.éq.CO2 ≤ charge	3 mois	6 mois

(*) Dispositif de détection de fuites respectant les prescriptions de l'article 3 du présent arrêté.

Art. 5. – L'opérateur qui a effectué les contrôles prévus au premier alinéa de l'article 1er consigne sur la fiche d'intervention prévue à l'article R. 543-82 du code de l'environnement les résultats du contrôle d'étanchéité.

Lorsque des fuites sont constatées lors du contrôle d'étanchéité de l'équipement (y compris contrôle de maintenance) l'opérateur qui a effectué les contrôles prévus au premier alinéa de l'article 1er du présent arrêté consigne sur la fiche d'intervention prévue à l'article R. 543-82 du code de l'environnement les réparations effectuées ou à effectuer.

Cette fiche indique en particulier chacun des circuits et des points de l'équipement où une fuite a été détectée. L'opérateur appose un marquage amovible sur les composants de l'équipement nécessitant une réparation

Art. 6. – Quand il est établi à l'issue du contrôle d'étanchéité que l'équipement ne présente pas de fuites, l'opérateur appose sur l'équipement la marque de contrôle d'étanchéité.

La marque de contrôle d'étanchéité est constituée d'une vignette adhésive ayant la forme d'un disque bleu de diamètre **égal ou supérieur à** quatre centimètres ~~de diamètre~~ et conforme au modèle figurant à l'annexe du présent arrêté.

Les vignettes sont apposées de manière à être visibles dans les conditions normales d'utilisation des équipements. La nouvelle vignette est substituée à la précédente. La marque de contrôle d'étanchéité indique la date limite de validité du contrôle d'étanchéité prévue à l'article 4 du présent arrêté. Si le contrôle d'étanchéité n'est pas renouvelé avant cette date, l'équipement ne peut faire l'objet d'opération de recharge en fluide frigorigène

Art. 7. – Lorsque des fuites sont constatées lors du contrôle d'étanchéité de l'équipement (y compris contrôle de maintenance) et que l'opérateur ne peut y remédier sur-le-champ, il appose sur l'équipement la marque signalant un défaut d'étanchéité.



La marque signalant le défaut d'étanchéité est constituée d'une vignette ayant la forme d'un disque rouge de quatre centimètres de diamètre et conforme au modèle figurant à l'annexe du présent arrêté. Cette marque est apposée sur la marque de contrôle d'étanchéité.

Tant que la réparation de l'équipement n'est pas effectuée, l'équipement ne fait alors plus l'objet d'opération de recharge en fluide frigorigène.

Art. 8. – 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 est abrogé.



Index des tableaux et figures

Tableaux

- Tableau 1 – Comparaisons des technologies de détecteurs mobiles
- Tableau 2 – Caractéristiques techniques des principaux contrôleurs d’ambiance présents sur le marché français
- Tableau 3 - Caractéristiques de l’installation frigorifique
- Tableau 4- Conditions d'essais - Entrepôt A - SE1
- Tableau 5 – Résultats Essai 1 – Entrepôt A – SE1
- Tableau 6 – Caractéristiques de l’installation frigorifique
- Tableau 7- Conditions d'essais - Entrepôt B – CP2 - SE1
- Tableau 8 – Résultats de l’essai 2 – Entrepôt B – CP2 - SE1
- Tableau 9 – Caractéristiques de l’installation frigorifique
- Tableau 10- Conditions d'essais - Entrepôt B - SE1 – test court
- Tableau 11 – Résultats de l’essai 3 – Entrepôt B – SE1
- Tableau 12 – Caractéristiques de l’installation frigorifique
- Tableau 13- Conditions d'essais - Hypermarché A – SE2 – Premier essai
- Tableau 14 – Résultats de l’essai 4 – Hypermarché A – SE2
- Tableau 15 – Caractéristiques de l’installation frigorifique
- Tableau 16- Conditions d'essais - Hypermarché A – SE2 – test court
- Tableau 17 – Résultats de l’essai 5 – Hypermarché A – SE2
- Tableau 18 – Caractéristiques de l’installation frigorifique
- Tableau 19- Conditions d'essais - Hypermarché A – SE2
- Tableau 20 – Résultats de l’essai 6 – Hypermarché A – SE2
- Tableau 21 – Caractéristiques de l’installation frigorifique
- Tableau 22- Conditions d'essais - Hypermarché A – SE2
- Tableau 23 – Résultats de l’essai 6 – Hypermarché A – SE2
- Tableau 24 – Bilan des résultats d’essais sur site sur les systèmes experts
- Tableau 25 - Synthèse des informations sur la charge de l'installation DRV de l'immeuble A
- Tableau 26 - Synthèse des informations sur la charge de l'installation DRV du site de l'immeuble B
- Tableau 27 – Bilan des résultats de tests d’étanchéité
- Tableau 28 – Adéquation des systèmes de détection de fuites aux différents types d’installations frigorifiques



Figures

Figure 1 - Structuration des principaux types de détecteurs de fuites de fluides frigorigènes	12
Figure 2 – Impact de l’installation d’un système expert sur le suivi des consommations annuelles pour la maintenance - exemples	20
Figure 3 – Point de piquage	22
Figure 4 – Bouteille récupération sur balance avec système de régulation en température.	23
Figure 5 – Bouteille de transfert installée sur balance et reliée à l’installation frigorifique de l’entrepôt A par un flexible de récupération.	23
Figure 6 – Essai Système expert SE1 sur installation frigorifique de l’entrepôt B avec réservoir horizontal.	25
Figure 7 – Evolution du débit massique de soutirage au cours des 4 jours d’essais (J à J+3)	26
Figure 8 – Evolution de la masse de fluide frigorigène dans la bouteille de transfert au cours de l’essai 3	27
Figure 9 – Evolution du débit de fuite calculé entre les différents points relevés au cours de l’essai 3	27
Figure 10 - Essai Système expert SE ₂ sur installation frigorifique de l’hypermarché A avec réservoir vertical	29
Figure 11 – Evolution de la masse de fluide frigorigène dans la bouteille de transfert au cours de l’essai 4	30
Figure 12 – Evolution du débit de fuite calculé entre les différents points relevés au cours de l’essai 4	30
Figure 13 – Evolution de la masse de fluide frigorigène dans la bouteille de transfert au cours de l’essai 6	32
Figure 14 – Evolution du débit massique moyen de soutirage durant les 7 jours de l’essai 6.	32
Figure 15 – Evolution de la masse de fluide frigorigène dans la bouteille de transfert au cours de l’essai 7	34
Figure 16 – Evolution du débit massique moyen de soutirage durant l’essai 7	34
Figure 17 – système DRV	36
Figure 18 – Partie du hall ventilée (armoire variateur)	47
Figure 19 – Parties confinées	47
Figure 20 – Maintenance préventive au niveau des soupapes	48
Figure 21 – positionnement des sondes d’aspiration dans des boîtiers protecteurs	48
Figure 22 – Ecran de contrôle des 6 groupes et du réservoir	49
Figure 23 – Utilisation d’un fumigène pour visualiser l’écoulement d’air	49
Figure 24 – Fuite calibrée placée sur la balance	50
Figure 25 – Première zone d’essai : réserve sur caillebotis	50
Figure 26 – tubes d’aspiration reliant les sondes au contrôleur	51
Figure 27 – sonde d’aspiration	51
Figure 28 – localisation des 7 sondes du contrôleur d’ambiance sur le site du groupe isolé	51
Figure 29 – écoulement fumigène vers la bouche d’aération, sous le caillebotis	52
Figure 30 – Evolution du positionnement de la sonde 5 (avant à gauche, après, à partir du test 3, à droite) ...	52
Figure 31 – Evolution des mesures de concentration par sonde (Test 4 et Test 5)	53
Figure 32 – Exemples de positions de la fuite calibrée au cours des tests	54
Figure 33 – Position des sondes d’aspiration protégées par un boîtier	54
Figure 34 – visualisations de l’écoulement d’air à l’aide du fumigène	55
Figure 35 – Outil de calcul proposé pour l’évaluation du temps nécessaire à la réalisation d’un contrôle d’étanchéité	58



Sigles et acronymes

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AFCE	Alliance Froid Climatisation Environnement
CES	Centre Efficacité énergétique des Systèmes
CETIM	Centre Technique des Industries Mécaniques
DRV	Débit de Réfrigérant Variable
EN	Norme Européenne
IFFI	Institut Français du Froid Industriel et de génie climatique
IRSTEA	Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
RPF	Revue Pratique du Froid



L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale.

L'Agence 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'Environnement, de l'Energie et de la Mer et du ministère de l'Education nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.





ETUDE SUR LES MOYENS DE DETECTION DE FUITE DES INSTALLATIONS DE REFRIGERATION DE CLIMATISATION

Résumé L'objectif de cette étude est d'explicitier les systèmes et méthodes de détection de fuites de fluides frigorigènes disponibles, de montrer leur adéquation avec les différents types d'installations frigorifiques existantes et, par une étude de terrain, d'évaluer leurs possibilités en termes de niveaux de détection pour différents « types de fuites ».

Essentiel à retenir

