

Détection de fuite : méthodes directes et indirectes

X. Cazauran, J. Pioger

CETIM (Centre Technique des Industries Mécaniques)
Pôle Technologies de l'Etanchéité
74 route de la Jonelière, 44326 Nantes

1. RESUME

En France, on se réfère à l'arrêté du 7 mai 2007 en ce qui concerne le contrôle d'étanchéité des installations. La réglementation française peut être plus exigeante que la réglementation européenne sur certains points. Néanmoins, certaines exigences européennes, qui n'ont pas été reprises dans la réglementation française, sont obligatoires en France. En d'autres termes, chacun doit se conformer aux deux réglementations, européenne et française, et appliquer, pour un même sujet, la plus sévère des deux. Cet exercice peut être générateur de confusions.

De plus, il est important de connaître les limites techniques des différentes méthodes de contrôle d'étanchéité, qu'elles soient directes ou indirectes.

Des méthodes directes et indirectes de détection de fuite sont brièvement présentées, avec leur lien avec la réglementation et leur applicabilité technique.

Cet article tente ainsi d'apporter une réponse à la questions suivante : quelle méthode de contrôle de fuite dois-je appliquer d'un point de vue réglementaire et d'un point de vue technique ?

2. EXIGENCES REGLEMENTAIRES

La réglementation française reprend en partie les réglementations européennes en vigueur. En effet comme les textes européens fixent des exigences minimales que les Etats peuvent augmenter et n'ont pas besoin d'être transposés dans les réglementations nationales.

La réglementation française reprend dans un même corpus de texte les fluides du type CFC, HCFC et HFC en étant plus exigeant que la réglementation européenne sur certains points.

Certaines exigences européennes n'ayant pas été reprises dans la réglementation française, elles sont néanmoins obligatoires en France.

Ainsi, chacun doit se référer à la fois aux règlements européens et à la réglementation française.

2.1 Réglementation européenne

Règlement (CE) n° 2037/2000 du Parlement européen et du Conseil du 29 juin 2000 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (article 17).

Journal Officiel de l'Union européenne du 29 septembre 2000.

Règlement (CE) n° 842/2006 du Parlement européen et du Conseil du 17 mai 2006 relatif à certains gaz à effet de serre fluorés (appelé F-Gaz).

Journal Officiel de l'Union européenne du 14 juin 2006.

Règlement (CE) n° 1516/2007 de la Commission 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 prévues à l'article 3 du règlement (CE) n° 842/2006 du Parlement européen et du Conseil.

Journal Officiel de l'Union européenne du 20 décembre 2007.

2.2 Réglementation française

Décret n° 2007-737 du 7 mai 2007 relatif à certains fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques.

Journal Officiel de la République Française du 8 mai 2007.

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.

(Application de l'art. 4 du décret n° 2007-737 du 7 mai 2007, abrogé et codifié aux art. R. 543-75 et suivants du code de l'environnement).

Journal Officiel de la République Française du 8 mai 2007.

3. LA DETECTION DE FUITE

3.1 Méthodes - Généralités

Plusieurs méthodes de détection de fuite existent. Elles se divisent en deux catégories :

- Les méthodes permettant une quantification globale, c'est-à-dire une mesure de fuite sur un composant, assemblage ou même une installation et qui permet de connaître la valeur de fuite de l'ensemble, plus ou moins précisément selon la technique employée. Ici, elles peuvent être appelées méthodes indirectes. Les méthodes sont : enveloppe remplie de gaz, enveloppe sous vide (global ou partiel), accumulation, pressurisation-dépression (appelé aussi ressuage), chute de pression, remontée de pression, débitmétrie.
- Les méthodes permettant une localisation, c'est-à-dire, une détection qui permet de localiser finement une source de fuite. Certaines techniques permettent d'estimer la valeur de niveau de fuite locale. D'autres techniques permettent d'apprécier le dépassement ou non d'un niveau de fuite par rapport à une valeur de fuite seuil, qui est fixée ou estimée. Ici, les techniques de localisation peuvent être appelées méthodes directes. Les méthodes sont : enveloppe sous vide (local), reniflage, aspersion, immersion, application d'un liquide.

Certaines de ces méthodes se retrouvent dans les règlements :

- L'article 7 du règlement européen n° 1516/2007 propose une liste de méthodes indirectes, que l'on apparente à des méthodes de quantification globale

- L'article 6 du règlement européen n° 1516/2007 propose une liste de méthodes directes, que l'on apparente à des méthodes de localisation

3.2 Méthodes indirectes

Le réglementation française n'utilise pas le mot « indirecte » dans son texte mais indique la possibilité d'utiliser un détecteur d'ambiance.

Le règlement européen mentionne des méthodes indirectes (article 7 du règlement n° 1516/2007) qui correspondent à un contrôle de paramètres de fonctionnement de l'installation, ou qui entraînent une présomption de fuite comme en utilisant un détecteur d'ambiance qui serait classé comme « système fixe de détection des fuites ».

Des méthodes techniquement indirectes mais qui ne sont pas mentionnées dans les règlements sont usuellement employées sur installations frigorifiques : les mesures par chute ou remontée de pression.

Dans les paragraphes qui suivent, nous exposons le principe de chacune des méthodes listées ci-dessous, ainsi que leur limite et donc leur applicabilité technique pour le contrôle d'étanchéité :

- La mesure par chute de pression
- La mesure par remontée de pression
- Le contrôle des paramètres de fonctionnement de l'installation (pression ou température)
- L'utilisation de détecteur d'ambiance

3.2.1 Chute de pression

La méthode indirecte par chute de pression n'est pas mentionnée dans le règlement européen n°1516/2007 ni dans l'arrêté français du 7 mai 2007. Nous l'indiquons car elle est utilisée à titre de prévention, c'est-à-dire avec un circuit pressurisé à l'azote.

Principe

Référence : NF EN 13184

Le contrôle d'étanchéité par la méthode de chute de pression est une méthode qui consiste à charger l'installation en gaz (azote ou fluide frigorigène) jusqu'à la pression maximale de service.

Ensuite, la variation de pression est mesurée pendant une durée définie dépendant du volume de l'installation. La température doit être enregistrée, car la pression de l'installation varie avec la température alors que le but du contrôle est de mesurer d'éventuelles variations de pression dues à des fuites.

Cette méthode de détection de fuites est le plus souvent utilisée sur le terrain, lors de l'installation comme en fin de production et avant la charge en fluide frigorigène. Ce contrôle permet d'obtenir une connaissance de l'état global de l'étanchéité du système.

Exemple numérique

Soit une installation de volume 1 m^3 dans un local à 20°C .
On charge l'installation sous 8 bar de fluide frigorigène.
On constate une chute de pression de 10 mbar en 24 h.
Le taux de fuite équivalent de R134a est de 15.3 kg/an.

3.2.2 Remontée de pression

La méthode indirecte par remontée de pression n'est pas mentionnée dans le règlement européen n°1516/2007 ni dans l'arrêté français du 7 mai 2007. Nous l'indiquons car elle est utilisée à titre de prévention, c'est-à-dire avec un circuit mis sous vide.

Principe

Référence : NF EN 13184

Le contrôle d'étanchéité par la méthode de remontée de pression consiste à mettre l'installation sous vide primaire de l'ordre de 1 mbar absolu. L'écart de pression entre l'intérieur de l'installation et l'extérieur est donc d'environ 1 bar.

Dans l'essai de remontée de pression, une fuite est une entrée d'air. La corrélation entre un taux de fuite d'air et un taux de fuite de fluide frigorigène passe par l'utilisation de facteurs de correction.

La variation de pression est mesurée pendant une durée définie dépendant du volume de l'installation. De même que pour la méthode par chute de pression, la température doit être enregistrée.

Comme la mesure par chute de pression, la mesure de fuite par remontée de pression est le plus souvent utilisée sur le terrain, lors de l'installation, comme en fin de production et avant la charge en fluide frigorigène. Ce contrôle permet d'obtenir une connaissance de l'état global de l'étanchéité du système.

Exemple numérique

Soit une installation de volume 1 m^3 dans un local à 20°C .
On réalise un vide dans l'installation jusqu'à environ 10 mbar.
La durée du contrôle est fixée à 24 h.
En considérant une remontée de pression de l'ordre de 10 mbar, le taux de fuite équivalent de R134a est de 23 kg/an.

3.2.3 Contrôle au manomètre

Le contrôle d'une variation de pression au manomètre fait partie des méthodes indirectes de détection de fuite mentionnées dans l'article 7 du règlement européen n°1516/2007. Cette méthode revient en quelque sorte à la méthode par chute de pression mais sur un circuit en fonctionnement.

Principe

Cette méthode permet de contrôler l'état du circuit de fluide frigorigène en fonctionnement.

Si le niveau de pression du circuit chute, cela peut être dû à une perte de charge issue d'une fuite. Le circuit fonctionne alors en mode dégradé.

L'utilisation de cette méthode suppose que l'installation fonctionne suivant un régime stable. Or ceci n'est pas vrai pour la plupart des installations frigorifiques.

Les exemples numériques suivants permettent de donner des ordres de grandeur sur le niveau de fuite par rapport au volume d'installation, la pression et le temps de mesure, en supposant que l'installation frigorifique contrôlée a un régime de fonctionnement très stable..

Exemple numérique 1

Une installation d' 1 m^3 est mise sous pression de 25 bar de R134a et sa pression décroît de 0.5 bar en 24 h (0.5 bar étant considéré comme étant la résolution du manomètre). La température du local est de 20°C .

Le taux de fuite de R134a est de 765 kg/an.

La fuite aurait été mise en évidence par la mise en sécurité des machines bien avant la chute de pression détectée.

Exemple numérique 2

L'exemple suivant donne un ordre de grandeur de valeur de fuite si le volume de l'installation considéré est relativement faible, comparativement à l'exemple précédent, et avec une pression un peu plus faible.

Une installation de 20 litres est mise sous pression de 13 bar de R134a et sa pression décroît de 0.5 bar en 24 h.

Le taux de fuite de R134a est de 15.3 kg/an.

Dans ce cas aussi, la fuite aurait été mise en évidence par la mise en sécurité des machines bien avant la chute de pression détectée.

Exemple numérique 3

Dans l'exemple suivant, nous déterminons le niveau de variation de pression qui devrait être indiqué sur un manomètre afin de constater une fuite non négligeable mais qui ne met pas en défaut le fonctionnement de l'installation.

Pour une installation de volume interne de 1 m^3 , un flux gazeux de 500 g/an correspond à une variation de pression de 0.3 mbar en 24 h.

La précision des manomètres utilisés sur les circuits de fluides frigorigènes n'est pas adaptée à ce type de mesure.

Exemple numérique 4

Ce dernier exemple donne une indication de niveau de mesure que devrait avoir un manomètre pour constater une fuite globale de l'installation exprimée en pourcentage de charge plutôt qu'en unité de fuite.

La plupart des machines de circuit frigorifique sont conçues pour se mettre en sécurité (arrêt) si la fuite de fluide frigorigène (la perte) représente 20 à 30 % de la charge nominale.

Une fuite de R134a entraînant une perte de 20 % de la charge pour une installation de 1 m³ de volume interne, contenant 100 kg de fluide, correspond à une variation de pression de 13 mbar en 24 h.

A nouveau, la précision des manomètres utilisés sur les circuits de fluides frigorigènes n'est pas adaptée à ce type de mesure.

Cette fuite, si elle se produit, serait donc indétectable au manomètre. Elle entraînerait une perte de charge importante, d'où un fonctionnement en mode dégradé du circuit jusqu'à la mise en sécurité des machines.

3.2.4 Contrôle de variations de températures

Le contrôle d'une variation de charge d'une installation à partir des variations de températures fait partie des méthodes indirectes de détection de fuite mentionnées dans l'article 7 du règlement européen n°1516/2007.

Des essais d'optimisation de charge de réfrigérant R134a ont été réalisés en 2003 par un industriel sur un prototype de machine de production d'eau glacée.

Le principe de l'essai était d'augmenter graduellement la charge de réfrigérant et de faire varier la consigne de niveau dans le condenseur (variation possible sur quelques centimètres) jusqu'à obtenir des conditions de fonctionnement optimum, à savoir une puissance frigorifique et un COP maximum.

Or « Puissance frigorifique » et « COP », dans des conditions données, sont directement liés à un paramètre appelé ΔT_a (en anglais « Small Temperature Difference ») qui caractérise la qualité de l'échange dans les échangeurs:

- à l'évaporateur, $\Delta T_a \text{ évaporateur} = T_{\text{sortie eau évap.}} - T_{\text{évaporation}}$
- au condenseur, $\Delta T_a \text{ condenseur} = T_{\text{sortie eau cond.}} - T_{\text{condensation}}$

Lorsqu'on augmente la charge, les valeurs de ΔT_a diminuent jusqu'à atteindre une valeur minimum (il est alors encore possible d'ajouter du réfrigérant mais ce supplément de charge n'aura plus d'influence sur les ΔT_a).

Remarque : à charge constante, si le niveau de fluide augmente dans le condenseur, il diminue dans l'évaporateur, et réciproquement.

Sur une installation prototype de capacité 544 kg de R134a, une baisse de charge de 23 kg, soit une diminution de 4.2 % de la charge, se traduit par une élévation du ΔT_a de l'évaporateur de 0.2 °C.

Ces valeurs ont été mesurées sur une plateforme d'essai dans des conditions stabilisées.

Or, sur site, le régime des machines variant continuellement, les mesures de températures ont un niveau de précision de l'ordre de ± 0.2 °C.

De plus, d'autres facteurs, autres que la baisse du niveau de fluide dans l'installation (fuite), influencent la valeur du ΔT_a : pollution du fluide à l'eau, à l'huile, encrassement des tubes par un dépôt de calcaire, régulation non optimisée, etc.

Enfin, si lors de la mise en service, le technicien a introduit dans la machine une charge supérieure à la charge optimum, aucune dégradation n'apparaîtra en cas de fuite tant que la charge restera supérieure à la charge optimum.

Ainsi, le contrôle des températures ne permet pas de constater une fuite relativement conséquente.

3.2.5 Détecteurs d'ambiance

Le contrôle d'étanchéité d'une installation à l'aide d'un détecteur d'ambiance est une méthode indirecte du règlement européen n°1516/2007 (article 7, paragraphe 3). Il est préconisé en France, par l'arrêté du 7 mai 2007. L'installation de système de détection fixe est obligatoire pour les installations de plus de 300 kg de charge selon le règlement européen n°842/2006 (article 3, paragraphe 3).

La fonction essentielle des détecteurs d'ambiance est de contrôler les teneurs en gaz de fluides frigorigènes dans l'ambiance de locaux. En effet, pour la sécurité des personnes, les concentrations de gaz ne doivent pas dépasser certaines teneurs maximales. Le détecteur d'ambiance a donc un rôle initial de sécurité des personnes. Cependant, les contrôleurs d'ambiance sont également utilisés en tant que détecteurs de fuite dans les locaux contenant des installations frigorifiques.

Vis-à-vis de la sécurité des personnes, l'agencement (ventilation, ouverture de porte, fenêtre) d'un local contenant une installation frigorifique va être conçu de manière à diluer rapidement les éventuelles fuites de fluides frigorigènes, ceci afin que la concentration de gaz dans l'air de ce local ne soit pas dangereuse pour les hommes qui sont amenés à y entrer. Dans ce cas, les contrôleurs d'ambiance sont là pour alerter le personnel sur la qualité de l'air du local.

Vis-à-vis des contrôles d'étanchéité des installations frigorifiques, l'agencement d'un local contenant une installation frigorifique devrait être conçu de manière à confiner les éventuelles fuites de fluides frigorigènes, c'est-à-dire un local dont le volume est le plus petit possible, sans ouverture et sans ventilation.

Les contrôleurs d'ambiance, s'ils sont fiables, permettent d'effectuer une maintenance conditionnelle basée sur le constat effectif d'un défaut. Il est donc particulièrement intéressant de connaître les performances des contrôleurs d'ambiance.

Il existe plusieurs technologies de détecteurs d'ambiance. Cependant, les détecteurs d'ambiance ayant les meilleurs niveaux de « sensibilité » (10 ppm) sont les détecteurs d'ambiance de type infrarouge.

Positionnement des sondes

Pour être efficace, les détecteurs d'ambiance doivent être positionnés au plus près des fuites.

Pour être fonctionnels, les contrôleurs d'ambiance doivent être mis en place « correctement ». Mais comment bien positionner un détecteur d'ambiance ? Des préconisations existent.

Préconisations des constructeurs

Les constructeurs préconisent de positionner les détecteurs :

- dans des locaux confinés,
- au plus près des sources de fuites possibles ⁽¹⁾,
- veiller à la hauteur à laquelle il va être situé en fonction du type de gaz qu'il va être amené à détecter ⁽²⁾,
- éloigné à plus de 50 cm d'un ventilateur ⁽²⁾,
- éloigné des sources de chaleurs ⁽¹⁾,
- dans tous les cas, il faut impérativement choisir un emplacement à l'abri des courants d'air ^{(1) (2)},
- éléments sur le positionnement de sondes de détecteur d'ambiance ⁽³⁾ :
 - 1- la sécurité des personnes est la raison principale de l'installation d'un détecteur,
 - 2- déterminer le flux d'air dans la pièce,
 - 3- le risque principal d'un fluide frigorigène est l'inhalation de ce produit toxique par une personne.

⁽¹⁾ Murco. *Installation tips*. www.murco.ie

⁽²⁾ JCI. *Fiche produit série G*. 2007.

⁽³⁾ Toxalert. *Tox-Refrig data sheet*. 2006.

Préconisations de la réglementation

Règlement européen n°1516/2007

« Les méthodes de mesure indirectes doivent être appliquées dans les cas où la fuite se développe très lentement et où l'équipement est placé dans un environnement bien aéré rendant difficile la détection des gaz à effet de serre fluorés s'échappant du système dans l'atmosphère. »

Un environnement bien aéré n'est pas compatible avec l'utilisation d'un détecteur d'ambiance, dans l'objectif du contrôle de fuite.

Arrêté français du 7 mai 2007

« Les sondes du contrôleur d'ambiance sont 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. »

Attention, car l'arrêté dit aussi « Si l'équipement se trouve dans un espace confiné, l'étanchéité peut être contrôlée par l'utilisation d'un contrôleur d'ambiance. » La contradiction est que, s'il y a ventilation, alors le local n'est pas confiné.

Préconisations issues de normes

ASHRAE Standard 15-1994, sections 7 & 8

§ 7.4.2. «*Detectors, (refrigerant, oxygen, etc.) are located in areas where refrigerant vapor from a leak will be concentrated so as to provide warning at a concentration not exceeding the refrigerant(s) TLV-TWA (or toxicity measure consistent therewith).*»

§ 8.13.2. «*Each machinery room shall contain a detector, located in an area where refrigerant from a leak will concentrate, which shall actuate an alarm and mechanical ventilation in accordance with 8.13.4 at a value not greater than the corresponding TLV-TWA (or toxicity measure consistent therewith).*»

Si l'efficacité des détecteurs d'ambiance dépend de la pertinence de la localisation des sondes, l'emplacement optimum du capteur dépend du phénomène de diffusion des gaz dans un local.

En 1999, une équipe japonaise a réalisé une série d'essais afin de mieux comprendre le phénomène de dispersion des fluides frigorigènes qui sont plus lourds que l'air [Kataoka, 1999].

Les fluides frigorigènes testés sont le HFC-134a, le HFC-32 et le CO₂.

Kataoka a étudié l'influence de plusieurs paramètres sur la dispersion d'une fuite de fluide frigorigène : le débit de fuite, la hauteur de la source de fuite, la masse moléculaire du fluide frigorigène, la circulation mécanique de l'air (climatiseur, ventilateur), les ouvertures des pièces [Kataoka, 1999].

Par exemple, l'utilisation d'un petit ventilateur (diamètre 90 mm, débit 1 m³/minute) permet de diluer une fuite de fluide frigorigène dans l'air ambiant de manière quasi instantanée. L'utilisation d'un ventilateur permet d'éviter les concentrations localisées de fluide, ce qui est satisfaisant du point de vue de la sécurité des personnes. En revanche, l'utilisation d'un ventilateur ne favorise pas la détection de concentrations de fluide frigorigène issue d'une fuite.

La plupart des pièces ont des ouvertures, telles que les espaces sous les portes, qui peuvent évacuer en dehors de la pièce les fluides frigorigènes issus de fuite.

Kataoka a montré par une série de tests qu'il était difficile de générer des concentrations de fluides frigorigènes supérieures à 10 % s'il existe dans la pièce un flux d'air à travers une porte de l'ordre de 1 kg/heure.

Nos recommandations

Pour placer au mieux des sondes des détecteurs d'ambiance, il est recommandé de :

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

Détection

La norme NF EN 14624 s'applique aussi aux contrôleurs d'ambiance utilisés en poste fixe pour mesurer l'élévation de concentration des fluides frigorigènes dans des salles de machines. Les contrôleurs d'ambiance utilisent des techniques de mesures basées principalement sur la spectrophotométrie infrarouge, les capteurs photoacoustiques (infrarouge aussi) ou les semi-conducteurs.

La norme NF EN 14624 requiert pour les contrôleurs d'ambiance deux essais de performance :

- Le premier consiste à placer la ou les sondes du contrôleur d'ambiance dans un volume de contrôle où seront successivement générées des concentrations variables entre 10 et 1000 ppm. La mesure ou le seuil d'alarme indiqué par le contrôleur d'ambiance est relevé pour chacune de ces valeurs.
- Le deuxième essai consiste à imposer la concentration maximale détectable par le contrôleur d'ambiance puis remettre la ou les sondes du contrôleur dans un volume de contrôle à faible concentration pour vérifier le temps au bout duquel le contrôleur d'ambiance donne la nouvelle valeur de concentration.

Comme mentionné dans l'article 10.4 de la norme NF EN 14624, les contrôleurs d'ambiance ont été qualifiés dans « *un volume étanche en air reconstitué [qui] reçoit une quantité pesée de R-134a permettant de générer une concentration homogène par brassage dans ce volume* ».

Comme le montre l'exemple suivant, le temps de réponse des détecteurs d'ambiance est lié au volume du local dans lequel il est installé.

Considérons un local de 1000 m^3 (25 m x 10 m x 4m) à 20 °C, à la pression atmosphérique. Ce local contient une installation frigorifique.

Supposons une fuite de 5 g/an, celle-ci correspond à un débit de fuite de l'ordre de $3.5 \cdot 10^{-5} \text{ atm.cm}^3/\text{s}$, soit un débit volume de R134a de $3.5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{s}$ à la pression atmosphérique.

Considérons que ce local est équipé de contrôleurs d'ambiance d'une sensibilité de 10 ppm. Ceci veut dire que le détecteur d'ambiance verra la fuite dès lors que la concentration de R134a dans l'air atteindra 10 ppm. Or une concentration de 10 ppm (volume/volume) de R134a correspond à un volume de 10 litres de R134a dans 1 000 000 litres d'air (1000 m^3).

Avec ce débit volume de fluide de $3.5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{s}$, et en supposant une bonne homogénéisation de l'air dans un local parfaitement étanche (pas d'ouverture de porte, ni de ventilation), il faudra attendre environ 9 ans pour que la concentration de R134a dans le local atteigne le seuil 10 ppm.

Si la fuite était de 100 g/an, il faudrait attendre 5 mois, et 1 mois pour 500 g/an.

Illustration par un essai

Des travaux récemment effectués au Cetim ont constitué à placer une fuite calibrée de R134a de 80-90 g/an à 2 cm au-dessus d'une cellule de mesure de concentration d'un détecteur d'ambiance, dans un local relativement confiné de 16 m^3 (pièce avec une porte dont le seuil est bouché et un faux plafond).

Une détection fluctuante atteignant plusieurs fois 30 ppm n'a été observée qu'au bout de deux semaines. Le fait d'ouvrir la porte entraîne une détection nulle.

On peut en conclure que même en plaçant une sonde très proche d'un élément potentiellement fuyard, une détection d'une fuite d'une centaine de grammes par an est improbable. En effet, les locaux possèdent en général des ouvertures temporaires (portes, fenêtres), des ouvertures permanentes (seuil de portes, ouvertures constantes vers l'extérieur, ventilations).

Vu le niveau de fuite à détecter avec un détecteur manuel demandé par la réglementation, il n'est pas justifié de diviser la périodicité du contrôle d'étanchéité lorsqu'un contrôleur d'ambiance est installé.

3.2.6 Quelle méthode indirecte appliquer ?

Méthode	Applicable réglementairement ?	Peut se substituer à une méthode directe réglementairement ?	Peut se substituer à une méthode directe techniquement ?
Chute de pression	non	-	non
Remontée de pression	non	-	non
Contrôle de la pression	oui (règlement européen) ? ⁽¹⁾ (règlement français)	oui (règlement européen)	non
Contrôle de la température	oui (règlement européen) ? ⁽¹⁾ (règlement français)	oui (règlement européen)	non
Détecteur d'ambiance	oui (règlement européen) oui, si sensibilité ≤ 10 ppm (règlement français)	oui ⁽²⁾ (règlement européen) oui, si espace confiné (règlement français) donc non	non pas dans leur configuration actuelle ⁽³⁾

⁽¹⁾ Tout dépend de l'interprétation que l'on fait de la réglementation. Cela peut être « oui » dans le fait que le règlement français ne mentionne pas que les méthodes indirectes du règlement européen ne sont pas à appliquer. Mais cela peut être « non » dans le fait que le règlement français n'indique pas ces méthodes et donc les considère inapplicables.

⁽²⁾ Oui, mais s'il y a présomption de fuite, elle suivie par une détection par méthode directe.

⁽³⁾ Le détecteur d'ambiance a pour fonction principale la sécurité des personnes et des biens et non la recherche de fuite. Leur classement en tant que détecteur de fuite est possible en plaçant le plus grand nombre possible de sondes de détection sur une installation, chacune à l'intérieur d'un emballage enveloppant un composant ou un ensemble de composants regroupés. Cette méthode de détection sous enveloppe est particulièrement intéressante. Elle est aussi applicable avec un détecteur manuel.

Les méthodes indirectes sont des méthodes qui ne permettent que de constater une importante perte de fluide. Dans l'état actuel des choses, elles ne sont en aucun cas équivalentes à des méthodes directes et les substituer à ces dernières est techniquement incorrect.

3.3 Méthodes directes

Les méthodes de localisation de fuites sont nombreuses. Certaines permettent de réaliser une mesure et donc d'estimer un niveau de fuite locale, d'autres indiquent le dépassement ou non d'un seuil soit prédéfini soit estimé.

Le réglementation française n'utilise pas le mot « directe » dans son texte mais indique l'utilisation de détecteur manuel.

Le règlement européen mentionne des méthodes directes suivantes : l'utilisation de dispositifs de détection de gaz, de liquide fluorescent plus facilement visible aux ultraviolets, de colorant, de solution moussante ou d'eau savonneuse.

Dans les paragraphes qui suivent, nous exposons le principe de chacune de ces méthodes, ainsi que leur limite et donc leur applicabilité technique pour le contrôle d'étanchéité.

Les méthodes directes sont liées à des techniques et des appareils de différents types. Elles sont regroupées via l'utilisation de certains appareils de détection comme suit :

- le détecteur-mesureur,
- le détecteur électronique,
- le produit moussant,
- l'eau savonneuse,
- le fluide fluorescent.

Le règlement européen impose une sensibilité de 5 g/an pour les dispositifs portatifs de détection de gaz, comme les détecteurs électroniques. Cependant, ce niveau de sensibilité n'est pas atteint par les méthodes directes prévoyant l'utilisation de produit moussant ou d'eau savonneuse. Des questions se posent sur la sensibilité des fluides fluorescents car peu testés du fait que beaucoup de fabricants de matériels ne recommandent pas leur utilisation.

3.3.1 Reniflage avec détecteur-mesureur

Principe

Références : NF EN 13185, NF EN 1779, ISO 12807

Le reniflage avec un détecteur-mesureur est un moyen pour détecter, localiser et estimer le niveau de fuite (local) avec indication de la valeur de mesure.

La technique permet de déceler, avec un appareil de reniflage approprié (par exemple : spectromètre de masse, appareil à ionisation de flamme), le gaz fuyard avec lequel l'élément ou le circuit à contrôler a été pressurisé. Le gaz, qui s'échappe par les défauts d'étanchéité, est détecté au moyen

d'une sonde de reniflage, reliée au détecteur de gaz, que l'on déplace manuellement lentement et au plus près des points à contrôler (maximum 20 mm/s et au plus 1 mm de distance). La sonde doit être placée au droit de la fuite. Des positionnements de la sonde en biais ou de travers peuvent entraîner une erreur de mesure ou même une non-détection. La valeur de fuite mesurée s'affiche sur l'appareil.

Ces appareils sont en général capables de mesurer des fuites d'au moins quelques dixièmes de g/an (grammes par an) ou quelques ppmv (partie par million, en volume) pour les fluides fluorés.

Il convient d'étalonner le détecteur au moyen d'une fuite calibrée avant tout contrôle.



Photo 1 : Déplacement de la sonde « au plus près » des zones potentiellement fuyardes

3.3.2 Reniflage avec détecteur électronique

Principe

Références : NF EN 13185, NF EN 1779, ISO 12807

Le reniflage avec un détecteur électronique est un moyen de détection et de localisation de fuite avec indication du dépassement d'une valeur seuil. La valeur de fuite détectée n'est pas indiquée. Le dépassement du seuil de détection est signalé en général par une ou plusieurs diodes qui s'allument et par un bip sonore plus ou moins rapide ou fort. Ces appareils permettent en général de détecter des fuites supérieures à 1 g/an, parfois plus, mais leur sensibilité doit être inférieure ou égale à 5 g/an.

Il convient de vérifier le niveau de seuil de détection de l'appareil au moyen d'une fuite calibrée avant tout contrôle. La sensibilité du détecteur doit être mesurée selon la norme EN 14624 (arrêté du 7 mai 2007).

Le déplacement du détecteur, ou plutôt de la sonde d'extrémité, doit être lent et au plus près des points à contrôler (maximum 20 mm/s et au plus 1 mm de distance). Si la sonde est déplacée rapidement et loin des composants, seulement les fuites très importantes pourront être détectées ; le niveau de sensibilité n'a plus de signification dans ces cas. Comme pour le détecteur-mesureur, la sonde doit être placée au droit de la fuite. Des positionnements de la sonde en biais ou de travers peuvent entraîner une non-détection.

3.3.3 Produit moussant

Principe

Références : NF EN 1593, NF EN 1779, ISO 12807

L'application d'un produit moussant est un moyen pour détecter et localiser une fuite.

Cette méthode consiste à pulvériser un liquide avec tensio-actifs sur la surface extérieure d'éléments d'un circuit pressurisé. Les défauts d'étanchéité sont mis en évidence par la formation de bulles. L'addition de tensio-actifs permet de diminuer la tension superficielle du liquide et donc de laisser apparaître d'éventuelles bulles plus facilement : pour qu'une bulle de gaz puisse se former, il faut que la pression interne de la bulle soit supérieure à la tension superficielle du liquide.

L'avantage d'un tel produit par rapport à de l'eau savonneuse est qu'il est plus sensible, et cette sensibilité est plus reproductible.

La compatibilité du liquide de détection avec les matériaux des éléments contrôlés doit être vérifiée.

Ces produits permettent de détecter des fuites d'au moins quelques centaines de g/an, cependant ceci n'est qu'indicatif et n'est en aucun cas un seuil fixe établi. Ce seuil dépend de nombreux paramètres : nature du gaz, conditions de contrôle, attention de l'opérateur, etc.

Cette méthode permet d'identifier des fuites importantes avant de passer à des contrôles faisant appel à des appareils plus sensibles et précis.

Des pulvérisations sont à appliquer, sans excès, à environ 10-20 cm (ou moins en cas de fuite très importante car le produit n'atteindrait pas la pièce) des éléments à contrôler en les couvrant de produit.

3.3.4 Eau savonneuse

Références : NF EN 1593, NF EN 1779, ISO 12807

L'utilisation d'eau savonneuse est un moyen de détection et de localisation de fuite.

Cette méthode consiste à couvrir au pinceau ou pulvériser d'eau savonneuse la surface extérieure d'éléments d'un circuit pressurisé. Les défauts d'étanchéité sont mis en évidence par la formation de mousse.

La compatibilité du liquide de détection avec les matériaux des éléments contrôlés doit être vérifiée.

L'eau savonneuse permet de détecter des fuites supérieures à plusieurs centaines de g/an, cependant ceci n'est qu'à titre informatif et n'est en aucun cas un seuil fixe établi. Ce seuil dépend de nombreux paramètres : nature du gaz, conditions de contrôle, attention de l'opérateur, etc.

L'eau savonneuse est préparée comme pour un lavage.

3.3.5 Fluide fluorescent

Principe

L'introduction de fluide fluorescent dans le circuit en fonctionnement avec le repérage à la lampe UV est un moyen pour détecter et localiser une fuite.

Cette technique, qui n'est pas normée, consiste à introduire un liquide fluorescent à l'intérieur d'un circuit en fonctionnement. Puis, une recherche à l'aide d'une lampe à ultraviolets permet de repérer d'éventuelles taches fluorescentes apparaissant aux endroits de fuites.

Les seuils de détection annoncés par les fabricants sont de l'ordre de 3 à 7 g/an. Cette technique ne permet cependant pas de s'assurer de l'application précise du traceur aux endroits susceptibles de fuir.

Une fois la recherche terminée et l'inventaire des éléments détectés fuyards ou non, tous les endroits comportant une trace fluorescente doivent être nettoyés. En effet, si une nouvelle recherche est effectuée après réparation, celle-ci ne doit pas être perturbée par des traces datant d'une recherche de fuites précédente. Il faut aussi porter des gants et des lunettes de protection contre les éventuelles coulées de liquide traceur. Une paire de lunettes anti-UV est nécessaire.

3.3.6 Quelle méthode directe appliquer ?

Ci-dessous sont comparées les différentes méthodes d'un point de vue pratique sans donner de détails concernant les technologies des instruments de mesure ou produits.

Méthode	Applicable réglementairement ?	Avantages	Inconvénients
Détecteur-mesureur	oui	Précision. Niveau de fuite indiqué.	Coûteux. Formation plus lourde nécessaire pour l'opérateur.
Détecteur électronique	oui si sensibilité ≤ 5 g/an	Simple, pratique.	
Produit moussant	oui (règlement européen) ? ⁽¹⁾ (règlement français)	Simple, pratique, pas cher. Idéal pour détecter des grosses fuites et permettre une maintenance rapide des matériels correspondants.	
Eau savonneuse	oui (règlement européen) ? ⁽¹⁾ (règlement français)	Simple, pratique si utilisée avec un pulvérisateur, pas cher.	Caractéristiques du mélange et sensibilité difficilement reproductibles.
Fluide fluorescent	oui (règlement européen) ? ⁽¹⁾ (règlement français)	Simple: on charge et on regarde à la lampe UV.	Pas de possibilité de s'assurer de l'application du traceur aux endroits susceptibles de fuir.

⁽¹⁾ Tout dépend de l'interprétation que l'on fait. Cela peut être « oui » dans le fait que le règlement français ne mentionne pas que les méthodes directes du règlement européen ne sont pas à appliquer. Mais cela peut être « non » dans le fait que le règlement français n'indique pas ces méthodes et donc les considère inapplicables.

Les méthodes directes sont des méthodes qui permettent de localiser une fuite mais chacune a ses limites. Nous recommandons l'utilisation du détecteur électronique en appliquant les bonnes pratiques sur son utilisation, le détecteur-mesureur étant trop coûteux pour cette application. Le produit moussant est un bon moyen de détection, il reste à statuer s'il est accepté ou non par la réglementation française.

3.3.7 Méthode sous enveloppe

Une possibilité de s'affranchir des perturbations causées par une brise ou par une ventilation par exemple, mais aussi de réduire l'erreur humaine vis-à-vis du positionnement d'un détecteur électronique, est d'employer la méthode sous enveloppe. Elle consiste à placer une enveloppe souple, en vinyle par exemple, autour d'un composant ou un ensemble de composants regroupés à contrôler. Le bout de la sonde de l'appareil est introduit dans l'enveloppe en faisant un petit trou dans celle-ci, et qui sera rebouché après l'opération de détection. S'il ya fuite, il y aura détection plus ou moins rapide selon le temps qui a été laissé entre l'emballage et la détection. S'il y a une large fuite, on peut s'attendre à observer un gonflement de l'enveloppe.

4. SENSIBILITE

Le terme « sensibilité » ou « seuil de sensibilité » que l'on trouve dans les règlements européen et français et dans la norme NF EN 14624 semble causer une certaine confusion. En effet, deux interprétations très différentes nous ont été données de la part de plusieurs acteurs du secteur du froid.

La première interprétation est d'associer la « sensibilité » d'un appareil de détection de fuite à un seuil de détection ou bien, en d'autres termes, à la valeur minimale de fuite détectable par l'appareil.

L'autre interprétation est de dire que la « sensibilité » correspond à la fourchette de précision de l'appareil. Une sensibilité de 5 g/an voudrait dire que l'appareil détecte un niveau de fuite X à plus ou moins 5 g/an. Ceci revient à être une « incertitude ».

La première interprétation est, selon nous, celle qui convient et ce, pour plusieurs raisons :

- Dire que la sensibilité indiquée dans les textes correspond à du « ± 5 g/an » correspondrait à avoir l'obligation de faire un contrôle d'étanchéité peu importe le niveau de détection des appareils utilisés. Ainsi, le contrôle d'étanchéité n'aurait plus aucun intérêt réglementairement parlant.

- L'arrêté français du 7 mai 2007 indique que les sensibilités des appareils doivent être mesurées selon la norme NF EN 14624. Le protocole d'essai de cette norme concerne bien la mesure d'un niveau de détection et non une incertitude « $\pm$ ».

L'unité « g/an » ne peut pas correspondre à une sensibilité, d'un point de vue métrologique (voir la définition normée plus bas).

D'un point de vue réglementaire, la valeur ajoutée d'un critère de seuil de détection est plus pertinent que celle d'un critère d'incertitude ou de sensibilité.

Pour information, la norme NF EN 1330-8 (Essais non destructifs - Terminologie. Partie 8 : Termes utilisés en contrôle d'étanchéité) ne mentionne pas le mot sensibilité mais donne les termes et définitions suivantes :

- Limite de détection du contrôle d'étanchéité : Valeur du plus petit flux de fuite décelable dans les conditions spécifiées.
- Flux de fuite minimal décelable : Plus petit flux de fuite qu'un instrument, une méthode ou un système peut déceler dans les conditions de l'essai.

La norme EN 14624 est actuellement en révision. Celle-ci est élaborée en langue anglaise. Elle indique clairement les termes suivants, dont l'un d'eux avec sa définition :

- Detection limit (lower, upper) : The minimum or maximum detectable concentration or leak rate which can be indicated with specified uncertainty and/or for which an alarm level can be set and is repeatably triggered.
- Detectable leak rate threshold.

Aussi, la norme NF X 07-001 (Normes fondamentales. Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie) donne les définitions suivantes :

- Détecteur : dispositif ou substance qui indique la présence d'un phénomène sans nécessairement fournir une valeur d'une grandeur associée. Notes : On peut n'avoir une indication que si la valeur de la grandeur atteint un seuil donné, parfois appelé **seuil de détection** du détecteur.
- Sensibilité : quotient de l'accroissement de la réponse d'un instrument de mesure par l'accroissement correspondant du signal d'entrée.
- Incertitude de mesure : paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande.

Pour résumer, le terme « sensibilité » est employé communément par les personnels techniques. Par abus de langage, il est utilisé pour signifier un seuil de détection.

5. CONCLUSION

Dans le cadre de contrôle d'étanchéité d'installations frigorifiques, les méthodes indirectes ne peuvent pas se substituer aux méthodes directes. Seules les méthodes directes sont suffisamment « sensibles » pour une détection de fuites n'entraînant pas de large perte de fluide.

L'utilisation d'un détecteur d'ambiance est requise, selon la réglementation, pour des installations contenant plus de 300 kg de charge. Ce type de détecteur a pour finalité la sécurité des personnes et des biens. Le fait d'avoir un détecteur d'ambiance ne justifie pas une diminution des contrôles d'étanchéité. Nous recommandons d'effectuer des contrôles suivant la périodicité indiquée sans détecteur d'ambiance dans la réglementation pour toute installation.

Les méthodes directes les plus efficaces sont : la méthode avec produit moussant (simple, bonne pour découvrir des fuites non négligeables), la méthode avec détecteur électronique (plus « sensible » mais attention aux bonnes pratiques d'utilisation) et la méthode avec détecteur-mesureur (donne une mesure, attention aux bonnes pratiques, mais onéreux).

Enfin, l'utilisation du terme « sensibilité » pose des problèmes d'interprétation. Il doit être compris comme étant le « seuil de détection ».

6. REFERENCES

Cazauran X. *Good practice guide for the detection of refrigerant leaks*. CETIM, 2009, ISBN 978-2-85400-868-5; Lavoisier, 2009.

Cazauran X. *Guide de bonnes pratiques pour la détection des fuites de fluides frigorigènes*. CETIM, 2008, ISBN 978-2-85400-831-9; Lavoisier, 2008.

Cazauran X., Guyot S., Hermon C. *Containment of CO2 refrigeration installations*. IIF/IIR, 8th Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Copenhagen, 2008. Proceedings article T3-03.

Clodic D. *Confinement : qualifier les détecteurs de fuites. Mesure des performances de détecteurs manuels de HFC*. Revue Pratique du Froid, n° 881, p 28-34.

Clodic D. *Contrôle d'ambiance, contrôle d'étanchéité et localisation des fuites*. Revue pratique du Froid, n° 832, Février 1996.

Clodic D., Loyer J.-C. *Analyses des performances de 3 contrôleurs d'ambiance selon la norme E35-422*. Ed. ENSMP, stock number EMP 151.190 CCL.5865, 2002.

Energy Efficiency Enquiries Bureau, ETSU. *Good practice guide 178. Cutting the cost of refrigerant leakage*. 1997.

Huchet A., Hermon C., Morio Y. *Containment of refrigeration installations*. IIR/IIF, 22nd International Congress of Refrigeration, Beijing, 2007. Proceedings article ICR07-B2-1098.

Huchet A., Ledauphin L., Morio Y. *Confinement des installations frigorifiques – Première partie : mesures sur site*. Revue Générale du Froid et du conditionnement d'air, n° 1067, Octobre 2006, pp 27-32.

Kataoka O., Ishida S., Hirakawa T., Yoshizawa M. *Experimental and Numerical analyses of refrigerant leaks in a closed room*. ASHRAE Annual Meeting, Seattle, WA, US, 1999. Vol 150, p 1151-1158.

Morgado I., Legras J.C., Clodic D. *Etalon primaire pour les débits de fuites de fluides frigorigènes*. 13^{ème} congrès international de métrologie, Lille, 2007.

Tallon J. *Contrôle industriel de l'étanchéité par traceur hélium*. Société Française du Vide, supplément Revue « Le Vide, les Couches Minces » n° 261, Mars-Avril 1992.

7. NORMES

NF EN 1330-8. Octobre 1998.

Essais non destructifs - Terminologie. Partie 8 : Termes utilisés en contrôle d'étanchéité.

NF EN 1779. Décembre 1999.

Essais non destructifs - Contrôle d'étanchéité - Critères de choix de la méthode et de la technique.

NF EN 13625. Mars 2002.

Essais non destructifs - Contrôle d'étanchéité - Guide pour la sélection des instruments utilisés pour le mesurage des fuites gazeuses.

NF EN 13185. Novembre 2001.

Essais non destructifs - Contrôle d'étanchéité - Méthode par gaz traceur.

NF EN 13184. Novembre 2001.

Essais non destructifs - Contrôle d'étanchéité - Méthode par variation de pression.

NF EN 1593. Novembre 1999.

Essais non destructifs - Contrôle d'étanchéité - Contrôle à la bulle.

NF A 09-110. Octobre 1980.

Contrôle d'étanchéité - Pratiques recommandées pour la recherche de fuites à l'aide de gaz sous pression.

NF A 09-491. Août 1989.

Essais non destructifs - Contrôle d'étanchéité - Contrôle par accumulation ou reniflage de gaz.

NF A 09-493. Mai 1990.

Essais non destructifs - Contrôle d'étanchéité – Pratiques recommandées pour le contrôle par ressuage sous vide à l'aide d'hélium.

NF EN 1518. Octobre 1998.

Essais non destructifs - Contrôle d'étanchéité - Caractérisation des détecteurs de fuite à spectromètre de masse.

NF EN 13192. Février 2002.

Essais non destructifs - Contrôle d'étanchéité - Etalonnage des fuites de référence des gaz.

NF X10-531. Juillet 1981.

Fuite calibrée d'hélium pour détecteur de fuite - Etalonnage.

ISO 12807. Septembre 1996.

Sûreté des transports de matières radioactives - Contrôle d'étanchéité des colis.

XP E35-424-1. Février 2006.

Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur - Qualification de l'étanchéité des composants -
Partie 1 : composants statiques (raccords, disques de rupture, assemblages à bride ou à raccord).

XP E35-424-2. Décembre 2007.

Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur - Qualification de l'étanchéité des composants -
Partie 2 : composants semi-statiques (détendeurs, vannes et robinets, valves de remplissage, pressostats, soupapes de sûreté contre les surpressions).

NF EN 14624. Juillet 2005.

Performances des détecteurs de fuite mobiles et des contrôleurs d'ambiance de fluides frigorigènes halogénés.

NF X 07-001. Décembre 1994.

Normes fondamentales. Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie.