

MÉTHODOLOGIE HELIUM

METHODOLOGY HELIUM

Y. GAMOT

40-30 – 29 rue de la Tuilerie – 38176 Seyssinet Cedex

Tél. : 04 76 97 93 08 Courriel: yves.gamot@40-30.fr

Résumé

Le plus sensible des tests d'étanchéité est actuellement le test global en hélium. Ce gaz rare inerte, n'existant pratiquement pas dans les gaz de désorption des parois, permet de ne pas avoir de bruit de fond important. Il existe 3 techniques utilisant ce gaz traceur :

- Le test global sous vide, qui se conçoit sur des pièces fermées supportant une dépression de 1 bar, avec comme variantes :
 - o Le test global partiel sensibilité maximale de 10^{-10} Pa.m³.s⁻¹
 - o Le test au jet (pour la localisation de fuites) 10^{-7} Pa.m³.s⁻¹
- Le test par ressuage qui s'utilise sur des pièces scellées 10^{-7} et 10^{-8} Pa.m³.s⁻¹
- Le test par reniflage, qui s'effectue en surpression par rapport à la pression atmosphérique, avec comme variantes :
 - o Le reniflage direct (pour la localisation de fuites) 10^{-7} Pa.m³.s⁻¹
 - o Le reniflage par accumulation 10^{-8} Pa.m³.s⁻¹

Ces tests, utilisant l'hélium et du matériel fragile pour leur mise en oeuvre, restent coûteux et nécessitent du personnel compétent.

Abstract

The most sensitive leak test is currently the global helium test. This rare inert gas, which hardly exists in the gas desorption from the inner walls, allows a testing without significant background noise. There are 3 techniques using this tracer gas :

- *The global vacuum test, which is carried out in closed areas allowing a depression of 1 bar, with two variations :*
 - o *The local global testing with a maximum sensitivity of* 10^{-10} Pa.m³.s⁻¹
 - o *The spray test (to localise leakage)* 10^{-7} Pa.m³.s⁻¹
- *The bombing test, which is used on sealed chambers* 10^{-7} and 10^{-8} Pa.m³.s⁻¹
- *The sniffer test, which is performed in overpressure in comparison with the atmospheric pressure, with two variations :*
 - o *The direct sniffer test (to localise leakage)* 10^{-7} Pa.m³.s⁻¹
 - o *The sniffing test with accumulation* 10^{-8} Pa.m³.s⁻¹

These tests, using helium and sensitive equipment for their implementation, are expensive and require highly skilled personnel.

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION :	3
1.1.	Recherche globale :.....	3
1.2.	Recherche locale :.....	3
2	METHODE GLOBALE SOUS VIDE A L'HELIUM :	4
2.1.	Technique sous vide avec accumulation :.....	4
2.2.	Etalonnage :.....	5
2.3.	Formules de calcul :.....	5
2.4.	Technique au jet :.....	6
2.5.	Technique à la ventouse :.....	6
3	LE RESSUAGE SOUS VIDE A L'HELIUM :	6
3.1.	Difficulté de la méthode :.....	7
3.2.	Procédure de test :.....	7
3.3.	Limites d'utilisation :.....	8
3.4.	Précautions à prendre :.....	8
3.5.	Formules de calcul :.....	8
3.6.	Courbes :.....	8
4	LE RENIFLAGE PAR ACCUMULATION :	9
4.1.	Formules de calcul :.....	9
4.2.	Variation de la concentration :	10
4.3.	Reniflage direct :.....	10
4.4.	Formules de calcul :.....	11
5	CONCLUSION :	11

INTRODUCTION :

Le plus sensible des tests d'étanchéité est actuellement le test global en hélium. Ce gaz rare inerte, n'existant pratiquement pas dans les gaz de désorption des parois, permet de ne pas avoir de bruit de fond important.

Deux types de méthodes sont à considérer :

Recherche globale :

La pièce à contrôler est plongée dans une atmosphère d'hélium.

La pièce à contrôler est remplie d'hélium.

Méthode par ressuage hélium.

Méthode par accumulation.

Reniflage avec accumulation.

Recherche locale :

Méthode à la ventouse.

Localisation au jet hélium.

Reniflage hélium avec ou sans accumulation.

L'utilisation de l'une ou l'autre de ces méthodes requière l'utilisation d'un spectromètre de masse calé sur l'hélium. La vérification du bon fonctionnement de cet appareil se fait toujours avec de petits dispositifs appelés fuites de référence ou fuites calibrées.

- La fuite calibrée : petit dispositif qui délivre un flux connu d'un gaz donné dans des conditions données, avec une pression différentielle de l'ordre de la grandeur de l'essai. La plupart des fuites calibrées sont étalonnées sous vide avec 100% d'hélium et à la pression atmosphérique. Leur utilisation à une autre pression voire une autre température, ou un autre gaz que l'hélium, implique l'utilisation de formules de transformation et d'abaques fournis par le constructeur.
- La fuite de référence : fuite calibrée qui possède un réservoir contenant 100% d'hélium à la pression atmosphérique.

Il existe maintenant sur le marché des fuites de référence avec réservoir adaptable. On configure le réservoir de référence à la même pression et à la même concentration que le volume contenant l'hélium autour de la pièce à tester. Dans les techniques de global inverse et de global sous vide à l'hélium en pression, cette astuce permet :

- D'avoir une fuite de référence qui travaille dans les mêmes conditions que la ou les fuites.
- De simplifier les calculs, car la concentration et la pression dans la poche ne sont plus à considérer.



Fuite calibrée



Fuite de référence hélium

METHODE GLOBALE SOUS VIDE A L'HELIUM :



Montage d'un test en global hélium sous vide

La pièce est mise sous vide par un groupe de pompage auxiliaire. A une pression de l'ordre de 1 Pa, elle est mise progressivement en communication avec la cellule d'analyse du spectromètre de masse calé sur l'hélium.

La pièce est mise sous poche plastique relativement étanche ; l'air est ôté de celle-ci avant l'injection d'hélium. Cette opération n'est pas obligatoire elle ne sert qu'à garantir une concentration voisine de 100% d'hélium dans la poche. Si l'on dispose d'un catharomètre, le prévidage de la poche est inutile car la concentration d'hélium sera donnée par celui-ci. Une précaution est pourtant à prendre pour les pièces volumineuses. Il faut, en effet, prendre la concentration en différents endroits de cette poche afin d'avoir une concentration moyenne.

Du fait de la différence de pression entre les deux faces de la paroi, l'hélium pénètre à l'intérieur de la pièce pour être quantifié par la cellule d'analyse.

Cette méthode ne permet pas de définir le nombre de fuites, leur valeur respective et leur position. Cependant, elle présente l'avantage majeur de détecter rapidement si une pièce possède ou ne possède pas de fuites supérieures à la valeur admissible imposée par une "TOLERANCE".

Technique sous vide avec accumulation :

Voici une technique permettant d'augmenter la sensibilité d'un test d'étanchéité en global sous vide à l'hélium.

Cette technique consiste à isoler la pièce du détecteur dans les conditions de test (sous vide, en ambiance d'hélium) afin d'augmenter la concentration hélium à l'intérieur de la pièce.

Après quelques minutes d'accumulation d'hélium, la pièce est mise en communication avec le détecteur. Cette méthode exige une précaution, vérifier que le taux de dégazage n'influence pas les résultats.

Cette technique ne permet pas de définir le nombre de fuites ni leur valeur respective. Cependant, elle présente l'avantage de détecter rapidement les soudures ou piquages fuyards.

NOTA : Ces techniques nécessitent un étalonnage préalable.

Etalonnage :

Cette opération consiste à mettre une fuite de référence, sur le circuit de vide ou sur l'appareil à tester lui-même, de la prévoir correctement et la mettre en relation avec le spectromètre de masse.

Elle permet l'étalonnage du test afin de quantifier au mieux la ou les valeurs de flux des fuites.

Formules de calcul :

$$QF = \frac{QFréf \cdot (SF - Res)}{SFréf - Res} \times \frac{1}{Conc \cdot He}$$

$$Sensibilité = \frac{QFréf \cdot \text{mini lisible}}{SFréf - Res} \times \frac{1}{Conc \cdot He}$$

$$\alpha = \frac{(SFréf - Res) \cdot Tol}{QFréf} \times Conc \cdot He$$

QF :	Valeur de la fuite.	mini lisible	Plus petit signal lu sur l'échelle du résiduel.
SFréf :	Signal de la fuite de référence.	Sensibilité	Plus petite fuite détectable dans les conditions du test.
SF :	Signal de la fuite lu sur le galva.	Tol :	Tolérance imposée par la procédure.
Res :	Bruit de fond du test.	α	Signal pour la tolérance, dans les conditions du test.
Conc.Hé :	Concentration du gaz traceur dans la poche.		

On constate que ces différentes formules font toujours appel au rapport de la valeur de la fuite de référence sur le signal qu'elle donne dans les conditions du test. Il suffit ensuite de poser les "règles de trois" afin d'extraire les données voulues telles que :

- La valeur de fuite.
- La sensibilité d'un test.
- Le signal pour la tolérance.

Ces formules sont toujours applicables. La plupart des spectromètres donnent non pas un signal, sur un galvanomètre ou un "barre graphe", mais directement un flux. La correspondance en flux direct ne peut être effective qu'après avoir rempli les trois conditions suivantes :

- Réussir à faire correspondre le flux de la fuite de référence avec le flux inscrit sur le boîtier électronique du spectromètre. (attention aux correspondances d'unités)
- Ne pas avoir de bruit de fond ou résiduel (ou alors très faible)
- Avoir une concentration de 100% d'hélium dans la poche entourant la pièce.

Si l'une des trois conditions n'est pas remplie, il faut alors utiliser les formules ci-dessus en tenant compte dans celles ci : de la pression d'hélium de la même façon que la concentration.

Technique au jet :

Cette technique permet de faire la localisation précise d'une fuite. Afin d'effectuer les recherches dans les meilleures conditions possibles, il convient d'observer certaines précautions :

- Commencer la recherche sur le montage de test (tuyauteries de pompage, manomètres, vannes, joints etc.).
- Continuer la recherche sur la pièce en partant du plus haut de celle-ci et au plus près de l'endroit où se trouve le détecteur (pour avoir le temps de réponse le plus court) puis vers le bas et en s'éloignant.
- Attention aux courants d'air de l'atelier.

Technique à la ventouse :

La technique à la ventouse consiste à mettre sous vide une petite partie de la pièce (surface de la ventouse) et mettre en relation le spectromètre avec celle-ci en ayant mis l'autre face de la paroi en présence de gaz traceur.

Si l'étanchéité, de la ventouse sur la paroi, est correcte la sensibilité est identique au global sous vide à l'hélium. Mais le bruit de fond étant souvent élevé, la sensibilité s'en retrouve généralement diminuée d'une ou deux puissances de dix.

Le déplacement de la ventouse doit être effectué suivant un quadrillage rigoureux afin de ne pas omettre de contrôler une partie de la paroi. Le même quadrillage doit être effectué sur l'autre face de la paroi pour permettre l'injection de gaz traceur en vis à vis de la ventouse.

LE RESSUAGE SOUS VIDE A L'HELIUM :

Ce type de test concerne en particulier les tubes électroniques, certains composants électriques et, en général, toutes les pièces scellées de faible volume intérieur pouvant supporter une surpression externe de quelques bars et un vide externe.

La méthode s'appelle "Ressuage à l'hélium" et se scinde en trois phases :

1^{ère} PHASE : IMPREGNATION



Chambre d'imprégnation

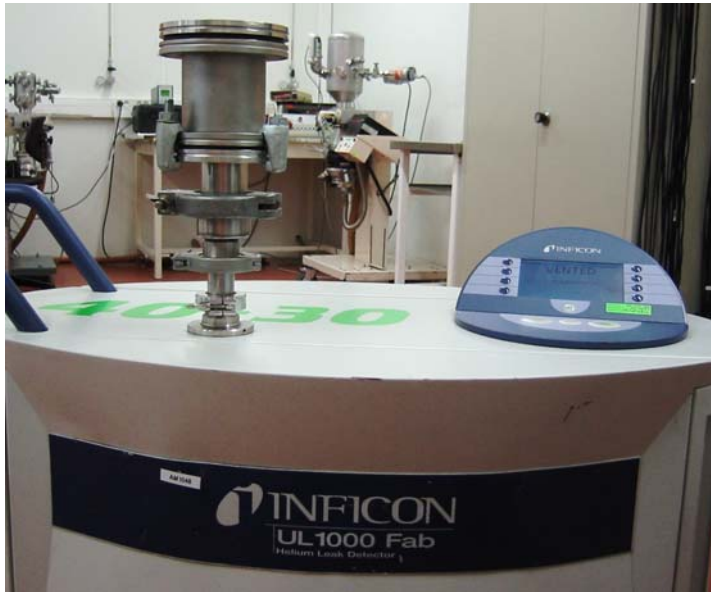
La pièce est placée dans une chambre d'imprégnation dans laquelle est appliquée une forte pression d'hélium. S'il y a fuite, l'hélium pénètre à l'intérieur de la pièce scellée.

2^{ème} PHASE : AERATION

La pièce est sortie de la chambre d'imprégnation et reste à l'air libre pendant un temps égal à $1/10^{\text{ème}}$ du temps d'imprégnation ou d'immersion. On profite de la durée d'aération pour effectuer un test par reniflage hélium direct sur la pièce afin de détecter les plus grosses fuites.

Les pièces trouvées non conformes sont rebutées.

3^{ème} PHASE : TEST



La pièce est placée dans une chambre de test dans laquelle le vide est réalisé. L'hélium qui a pénétré ressort alors et donne un signal au spectromètre de masse.

Spectromètre de masse avec la chambre de test

Difficulté de la méthode :

La quantité d'hélium qui pénètre dans la pièce est liée à la valeur de la fuite. C'est pourtant lorsque la fuite est petite qu'il serait nécessaire, lors de la troisième phase, d'avoir, à l'intérieur de la pièce, beaucoup d'hélium.

En présence d'une grosse fuite, l'hélium entre vite dans la pièce, mais il en ressort aussi vite, ce qui signifie que, lors du contrôle, il peut ne rester que peu d'hélium et le détecteur ne signale qu'une faible fuite. D'où l'utilité de faire le reniflage direct durant la seconde phase.

Cette seconde phase, dite d'aération, est nécessaire car pendant l'application de l'hélium sur la pièce, les parois accrochent des molécules de traceur qui seraient désorbées lors de la mise sous vide.

Procédure de test :

- La pièce à contrôler est placée dans une chambre d'imprégnation de dimensions appropriées. Par balayage ou prévidage, on remplace l'air de cette chambre par de l'hélium que l'on amène à une pression comprise entre 0,5 et 30 bars absolus. C'est la pression d'immersion ou d'imprégnation (P_i). Ce temps est mis à profit pour l'étalonnage du banc final de test et surtout la mesure du bruit de fond de la chambre de test seule.
- L'ensemble est maintenu en l'état pendant un temps d'immersion ou d'imprégnation (t_i) de quelques heures.
- Sortie de la chambre d'imprégnation, la pièce est maintenue à l'air libre, afin de permettre à l'hélium collé sur les parois, de s'échapper. Pour activer cette opération, il est possible de souffler la pièce à l'air comprimé ou de la chauffer légèrement. Le séjour de la pièce à l'air libre s'appelle "temps d'aération" (t_a), il est en principe égal à $1/10^{\text{ème}}$ du temps d'imprégnation (t_i). Ce temps est mis à profit pour effectuer, sur les endroits de la pièce les plus suspects, un reniflage direct à l'hélium afin de détecter les pièces les plus fuyardes.
- Placée dans une chambre de test en relation avec un banc de test hélium, la pièce est mise sous vide et on procède à la mesure du signal hélium qu'elle restitue. Lors de la mesure il ne faut pas s'attendre à observer un signal croissant. Le régime d'écoulement de la fuite est stabilisé dès la mise sous vide et le spectromètre indique la fuite, si elle existe, dès son ouverture.

Limites d'utilisation :

Le ressuage permet de mettre en évidence des fuites dont le flux est compris entre 1.10^{-8} à 1.10^{-5} Pa.m³.s⁻¹.

Précautions à prendre :

Lorsque le détecteur indique une fuite, un doute subsiste sur sa valeur. En effet, à un signal peuvent correspondre deux valeurs de fuite :

- L'une petite car si l'hélium entre difficilement par celle ci dans la pièce il en ressort aussi difficilement.
- L'autre plus importante car si l'hélium entre facilement par celle-ci il en ressort aussi facilement.

D'où l'utilité d'effectuer un test par reniflage direct durant la phase d'aération.

Formules de calcul :

$$QF_{\text{détecteur}} = \frac{QF_{\text{réf}} \cdot [(Scloche + pièce) - Scloche \cdot seule]}{SF_{\text{réf}} - Scloche \cdot seule}$$

$$QF = P_0 \sqrt{\frac{QF_{\text{détecteur}} \cdot V}{P_i \cdot t_i}}$$

QFdétecteur :	Flux de fuite au détecteur.	QF :	Flux de la pièce.
QFréf :	Flux de fuite de référence.	P ₀ :	Pression dans la pièce.
Scloche+pièce	Signal (cloche + pièce).	V :	Volume libre interne de la pièce.
Scloche seule	Signal cloche seule.	P _i :	Pression d'immersion.
:	Signal fuite de référence.	t _i :	Temps d'immersion.
SFréf :			

Courbes :

L'établissement de courbes permet d'effectuer une correspondance directe entre la valeur réelle d'une fuite en fonction de sa valeur lue au détecteur.

Ces courbes impliquent des conditions de test et de volumes identiques.

L'établissement de celles-ci est possible grâce à la formule ci-dessus.

Cette formule n'est applicable que pour des pièces ayant une pression interne de l'ordre de la pression atmosphérique.

LE RENIFLAGE PAR ACCUMULATION :



Réservoir en test avec un spectromètre de masse muni d'une sonde renifleur

Cette méthode s'applique aux pièces supportant une mise en pression. L'enceinte, dont on veut contrôler l'étanchéité, est mise sous pression interne P d'un gaz traceur compatible avec sa résistance mécanique (voir le cahier des charges) et la grandeur des fuites à déceler. L'enceinte entière (ou une partie de sa surface) est ensuite enfermée dans une enveloppe étanche dans laquelle s'accumule le gaz issu des fuites éventuelles. Cette quantité de gaz est ensuite mesurée dans ce volume de mesure (V_m) et permet de calculer le flux des fuites collectées.

Le volume de mesure (V_m) désigne le volume compris entre l'enveloppe étanche collectant les fuites et l'objet en essai.

La fraction volumique (concentration) de gaz traceur étant faible dans ce volume, l'étanchéité de son enveloppe n'a généralement pas besoin d'être parfaite.

Formules de calcul :

$$QF = \frac{V_m \cdot P \cdot \Delta\rho}{\Delta t} \times \frac{1}{Conc}$$

$$QF = \frac{V_m \cdot P \cdot 5 \cdot 10^{-6} (S_2 - S_1)}{\Delta t \cdot (S_{PPM} - Re sN_2)} \times \frac{1}{Conc}$$

QF :	Flux de fuite.	S ₁ :	Signal au premier prélèvement.
V _m :	Volume de mesurage.	S ₂ :	Signal au second prélèvement.
P :	Pression dans la poche.	SPPM :	Signal des PPM dans l'air.
Δρ :	Différence de concentration dans la poche.	Res N ₂ :	Bruit de fond de l'appareillage sans PPM d'hélium dans l'air.
Δt :	Temps entre les prélèvements.	Conc :	Concentration du traceur dans la pièce.

Variation de la concentration :

Lors de la mise en place de la poche ou des poches, le spectromètre de masse hélium est en fonctionnement. Il est relié à un renifleur dont la conductance est fixe.

Le détecteur indique un signal SPPM correspondant à l'hélium contenu dans l'air atmosphérique dont la concentration est d'environ 5 PPM ou $5 \cdot 10^{-4}$ %. (Il est conseillé de prendre la concentration hélium de l'air ambiant à l'extérieur du local de test ou mieux encore dehors à l'air libre.)

Au premier prélèvement le détecteur indique un signal S₁ différent de SPPM s'il y a fuite ou une ambiance hélium dans le local de test.

Au second prélèvement le détecteur indique un signal S₂ différent de SPPM s'il y a fuite.

On calcule directement la différence de concentration :

$$\Delta\rho = 5 \cdot 10^{-6} \frac{S_2 - S_1}{SPPM - ResN_2}$$

Les variations du signal sur une période relativement longue limitent la fiabilité de cette méthode. Il est donc conseillé de ne séparer S₂ de S₁ que d'un temps relativement court. Bien entendu ceci dépend de la tolérance imposée, de la concentration du gaz traceur dans la pièce et de la grandeur du volume de mesurage.

Reniflage direct :

Cette méthode s'applique aux pièces supportant une mise en pression.

L'enceinte, dont on veut localiser les fuites, est mise sous pression interne P d'un gaz traceur compatible avec sa résistance mécanique (voir le cahier des charges) et la grandeur des fuites à déceler. Après un temps permettant au gaz traceur de traverser la paroi en essai, la sonde renifleur du détecteur de fuite est approchée de l'enceinte et déplacée à sa surface.

S'il y a fuite, l'hélium est aspiré par le renifleur. Le gaz traceur passe soit par une cellule renifleur puis vers la cellule d'analyse, soit par contre flux d'une pompe moléculaire ou turbo moléculaire puis vers la cellule d'analyse.

Comme tout reniflage cette méthode permet de localiser avec précision une fuite sans en donner la valeur exacte.

Avec l'hélium comme gaz traceur, le test s'effectue du bas vers le haut et inversement pour les autres gaz traceurs.

Ce test complète le test en reniflage avec accumulation car il permet la localisation des fuites et une estimation de leur valeur, contrairement au test par accumulation qui permet de quantifier la fuite globale de la pièce testée sans localisation.

Formules de calcul :

$$\frac{QF_{cal}}{SF_{cal}} = \frac{QF}{SF}$$

$$QF = \frac{QF_{cal} \cdot SF}{SF_{cal}}$$

QFcal : Valeur de la fuite calibrée corrigée pour le gaz traceur, pour la pression et pour la température.

QF : Valeur de la fuite.

SFcal: Signal de la fuite calibrée.

SF : Signal de la fuite.

Pour l'étalonnage, il faut se rappeler qu'il y a 5 P.P.M. d'hélium dans l'air ambiant ou alors, disposer d'une fuite calibrée montée dans les mêmes conditions de test que la pièce à contrôler.

CONCLUSION :

La mise en œuvre d'un contrôle d'étanchéité sous vide exige du technicien 3 qualités essentielles :

- LA PATIENCE : la pression ne descend pas d'un facteur 10^{-4} à fortiori d'un facteur 10^{-10} en quelques minutes.
- LA PROPETE : un cheveu sous un joint, une trace de doigt, une rayure peuvent compromettre la réussite d'un test.
- LA TENACITE : la recherche de fuites, inlassablement recommencée, est une rude épreuve pour les nerfs.

L'étanchéité est la méthode END complémentaire des autres END. Comme toutes méthodes END il faut beaucoup de pratique pour être compétent en la matière.

Je veux aussi dire merci à Lucien ROSSI qui m'a permis de devenir Niveau 3 Etanchéité COFREND.