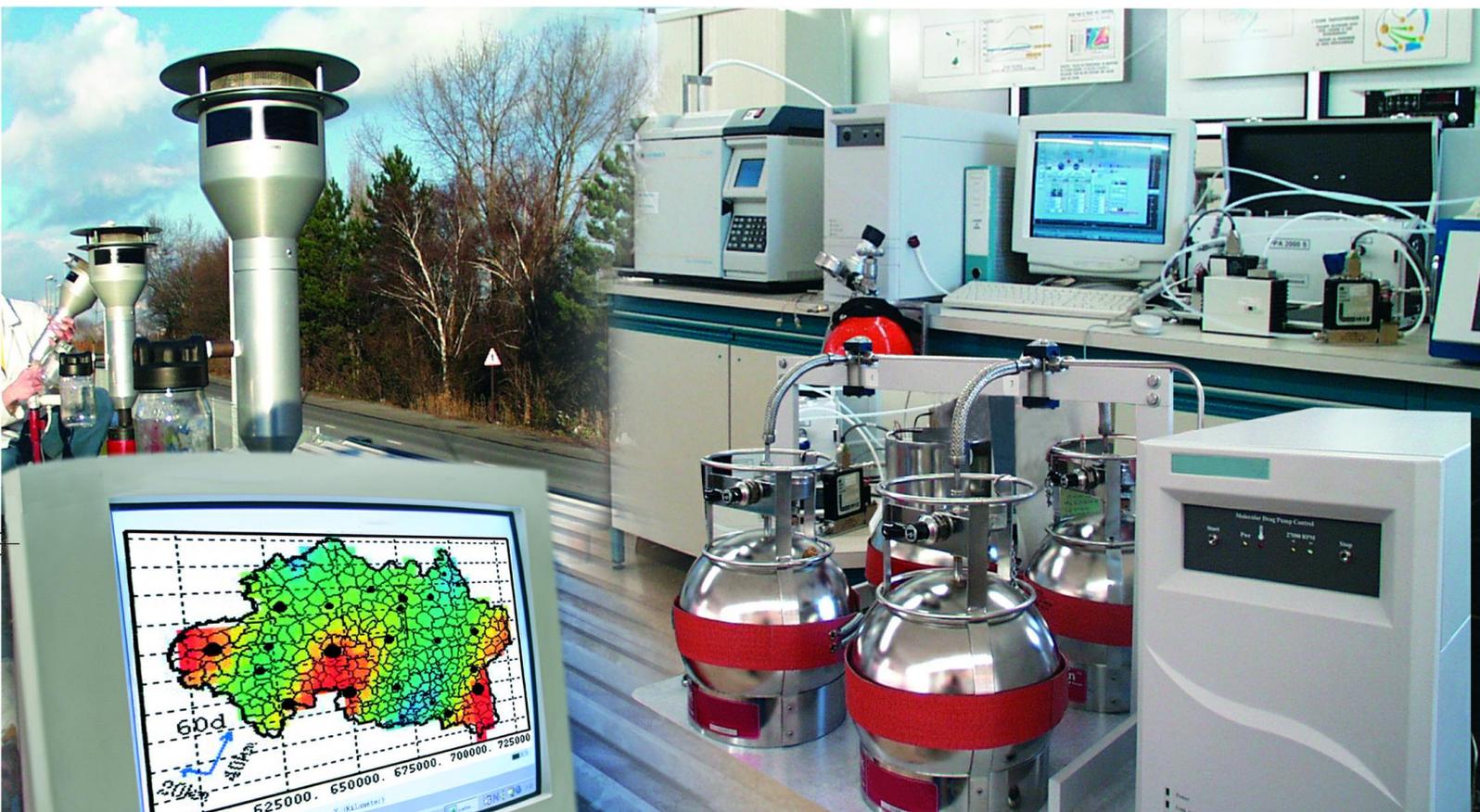




Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Métrologie des particules PM_{10} et $PM_{2.5}$

**Suivi et optimisation de l'utilisation des TEOM-FDMS :
Guide pour l'utilisation du TEOM-FDMS (version 2010)**

Décembre 2010

Programme 2010

O. FAVEZ ET A. USTACHE





PREAMBULE

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué de laboratoires de l'École des Mines de Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches finalisées à la demande du Ministère chargé de l'environnement, et en concertation avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces travaux en matière de pollution atmosphérique ont été financés par la Direction Générale de l'Energie et du Climat (bureau de la qualité de l'air) du Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement. Ils sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France en apportant un appui scientifique et technique au MEDDTL et aux AASQA.

L'objectif principal du LCSQA est de participer à l'amélioration de la qualité des mesures effectuées dans l'air ambiant, depuis le prélèvement des échantillons jusqu'au traitement des données issues des mesures. Cette action est menée dans le cadre des réglementations nationales et européennes mais aussi dans un cadre plus prospectif destiné à fournir aux AASQA de nouveaux outils permettant d'anticiper les évolutions futures.



Guide pour l'utilisation du TEOM-FDMS Version 2010

Laboratoire Central de Surveillance
de la Qualité de l'Air

Métrologie des particules PM₁₀ et PM_{2.5}

Programme financé par la
Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC)

2010

O. FAVEZ et A. USTACHE

Ce document comporte 25 pages (hors couverture et annexes)

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	A. USTACHE O. FAVEZ	E. LEOZ-GARZIANDIA	M. RAMEL
Qualité	Ingénieurs Direction des risques chroniques	Responsable unité CIME Direction des risques chroniques	Responsable LCSQA/INERIS Direction de risques chroniques
Visa	 		

TABLE DES MATIÈRES

1. RESUME.....	7
2. INSTALLATION.....	9
2.1 Influence de la température de la station	9
2.2 Adéquation du couple TEOM 1400AB - FDMS 8500C.....	10
2.3 Pompe.....	11
2.4 Raccords rapides	12
2.5 Tête de prélèvement	12
2.6 Paramètres d'intérêt.....	13
3. AUDITS ET MAINTENANCES	14
3.1 Tableau synthétique des audits et maintenances	14
3.2 Vérification de la dépression en amont de la pompe.....	16
3.3 Maintenance / vérification du sécheur	16
3.4 Changement des filtres	17
3.4.1 filtre de collection	17
3.4.2 filtre de purge.....	17
3.4.3 filtres « haute capacité ».....	18
3.5 Vérification des débits	18
3.6 Vérification de l'étanchéité des circuits fluides	18
3.6.1 tests de fuite	18
3.6.2 vérifications des joints et raccords rapides	19
3.6.3 fuite au niveau de la vanne a translation du module FDMS.....	19
3.7 Vérification du blanc d'instrument	20
3.8 Vérification de la microbalance	21
4. ASSURANCE QUALITE DES DONNEES.....	22
4.1 Tableau synthétique pour la validation technique	22
4.2 Validation technique au jour le jour	23
4.2.1 Concentrations	23
4.2.2 Bruit	23
4.2.3 Ecart mesuré sur le site de référence	24
5. LISTE DES ANNEXES	25

1. RESUME

Le présent guide a pour objectif de fournir une aide aux utilisateurs des TEOM-FDMS (TEOM 1400 couplé à un module FDMS 8500) dans les AASQA. Il a été construit à partir des expériences de chacune des AASQA, rencontrées au cours des journées d'échange sur les TEOM-FDMS ayant eu lieu en 2008, 2009 et 2010. La rédaction de ce guide se nourrit également des échanges réalisés par le LCSQA avec les différents laboratoires européens de référence (notamment lors des réunions de l'AQUILA), le constructeur (*Thermo Fisher Scientific*) ainsi que le distributeur français (*Ecomesure*).

Ce guide pour l'utilisation du TEOM-FDMS est élaboré en tenant compte de l'expérience de chacun des interlocuteurs participant à ces échanges. Il a vocation à évoluer, afin d'être remis à jour régulièrement. Toutes remarques et propositions de corrections sont les bienvenues, et peuvent être adressées directement au LCSQA (Aurélien Ustache, aurelien.ustache@ineris.fr; Olivier Favez, olivier.favez@ineris.fr).

Nous observons, depuis 2007 (date de début d'utilisation des TEOM-FDMS pour la réalisation de mesures réglementaires des PM₁₀ en France), une nette évolution dans la connaissance technique du fonctionnement de l'instrument, tant au niveau des solutions à apporter en cas de problème que des procédures à mettre en œuvre pour vérifier le fonctionnement de l'outil en routine. De ce fait, il est aujourd'hui possible de proposer cette nouvelle version du guide pour l'utilisation du TEOM-FDMS (version 2010), sous la forme d'un protocole d'assurance et de contrôle qualité des mesures en routine, qui reprend et complète les versions antérieurs.

Le chapitre 2 de ce document est consacrée aux précautions à prendre lors de l'installation sur site (climatisation de la station de mesure, remplacement et optimisation de certaines pièces de l'instrument, choix des paramètres de fonctionnement d'intérêt à rapatrier au niveau du poste central).

La chapitre 3 synthétise les audits et maintenances à réaliser en routine pour s'assurer de la bonne qualité des mesures. Dans cette partie, une attention particulière est notamment portée aux points névralgiques de l'instrument : étanchéité des circuits fluide, stabilité de la microbalance, dépression en amont de la pompe et efficacité du sécheur.

Enfin, la dernière partie s'attache à décrire les paramètres d'intérêt à suivre en routine pour la validation des données obtenues à l'aide du TEOM-FDMS.

Les modalités d'évolution de ce document sont à définir collectivement, et pourront être discutées en Commission de Suivi "Mesure des particules en suspension". Cette dernière remarque s'applique tout particulièrement aux processus de validations de données, aujourd'hui très disparates d'une AASQA à l'autre.

2. INSTALLATION

2.1 INFLUENCE DE LA TEMPERATURE DE LA STATION

L'existence d'un gradient de température entre l'extérieur et l'intérieur de la station peut engendrer la condensation d'eau dans la ligne de prélèvement et/ou dans l'instrument. Ainsi :

Il convient d'isoler correctement la ligne de prélèvement entre le toit de la station et l'entrée du module FDMS (l'utilisation d'un matériau isolant de type Armaflex est vivement recommandée par le LCSQA et par le distributeur français).

Pour l'étude de masses d'air chaudes et humides, il est recommandé d'installer un « bocal à condensation » sur la ligne du flux auxiliaire.

Il convient d'installer l'instrument hors de tout flux d'air (notamment hors du flux du système de climatisation).

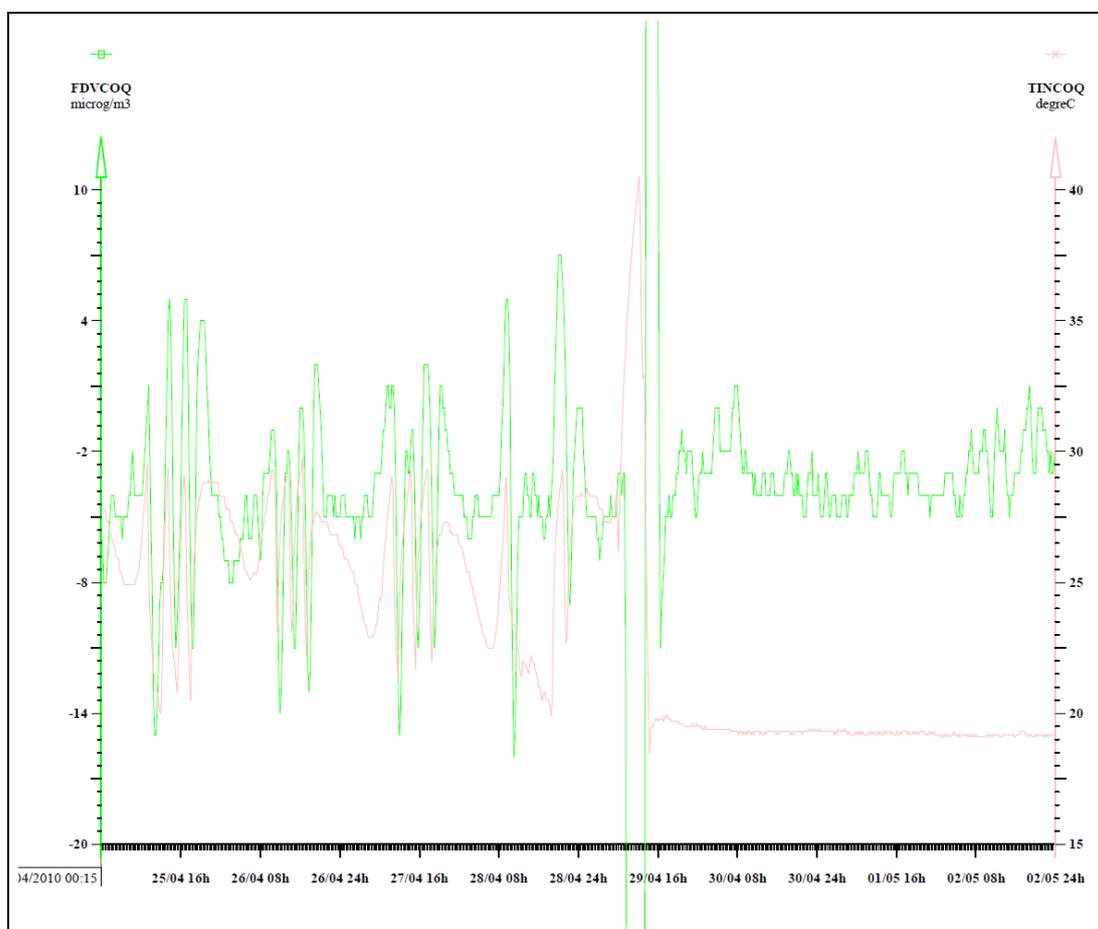


Figure 1: Exemple de perturbation induite par un problème de climatisation dans la station fixe. Courbe verte : « Mass Ref. », courbe rose : température interne de la station (fourni par Atmo Auvergne).

La régulation et le contrôle de la température de travail est également un paramètre clé pour le bon fonctionnement du module FDMS. D'une part, la régulation de température de la microbalance s'effectuant uniquement par chauffage, elle n'est pas assurée au dessus d'un seuil proche de 30°C (température de travail de la microbalance) ; d'autre part, le bon fonctionnement du sécheur n'est pas garanti pour une température supérieure à 27°C (en effet, si l'air du flux de purge n'est pas suffisamment sec et le gradient d'humidité dans le sécheur est trop faible, la régulation de l'humidité, basée sur un transfert d'eau entre le flux échantillonné et le flux de purge moins humide, n'est alors plus possible).

Pour ces raisons, **il est préconisé de maintenir la température de travail entre 20°C et 25°C et de veiller à ce que les variations de température dans la station ne dépassent pas 2°C par heure** (conformément aux recommandations du constructeur).

La Figure 1 illustre les perturbations engendrées par une température de travail trop élevée (>25°C) sur la mesure par TEOM-FDMS, en particulier sur le signal « Ref ».

Il est donc primordial de veiller à la bonne adéquation entre le dimensionnement de la station et le système de climatisation mise en œuvre. Différentes expériences montrent que l'installation de système de climatisation de type « Inverter » est bénéfique pour le fonctionnement du TEOM-FDMS. En revanche, ce type système de climatisation ne semble pas adapté aux stations de petites dimensions.

2.2 ADEQUATION DU COUPLE TEOM 1400AB - FDMS 8500C

Le basculement de la vanne du FDMS entre le flux « Ref » et le flux « Base » provoque un régime transitoire induisant des perturbations sur la mesure de la fréquence de la microbalance. Pour le bon fonctionnement du TEOM-FDMS, ce régime transitoire doit être bref (< 90s). Au-delà de ces 90 premières secondes, la fréquence de la microbalance doit 1) diminuer en mode « Base », 2) être stable ou augmenter en mode « Ref » (pour des prélèvements d'air ambiant, cf. Figure 2). Le saut de fréquence entre les mesures en mode « Base » et « Ref » est typiquement de l'ordre de 1 mHz.

Une conséquence de l'existence de ce régime transitoire est qu'une **microbalance** donnant des résultats acceptables en mode TEOM 50°C **peut ne pas être suffisamment stable pour fonctionner en mode TEOM-FDMS** (cf. Figure 2). Ce problème, pouvant également induire un bruit trop élevé, a principalement été observé lors de l'installation d'un FDMS sur une microbalance déjà "âgée". Dans ce cas, il convient d'envisager d'utiliser une autre microbalance pour la mesure TEOM-FDMS.

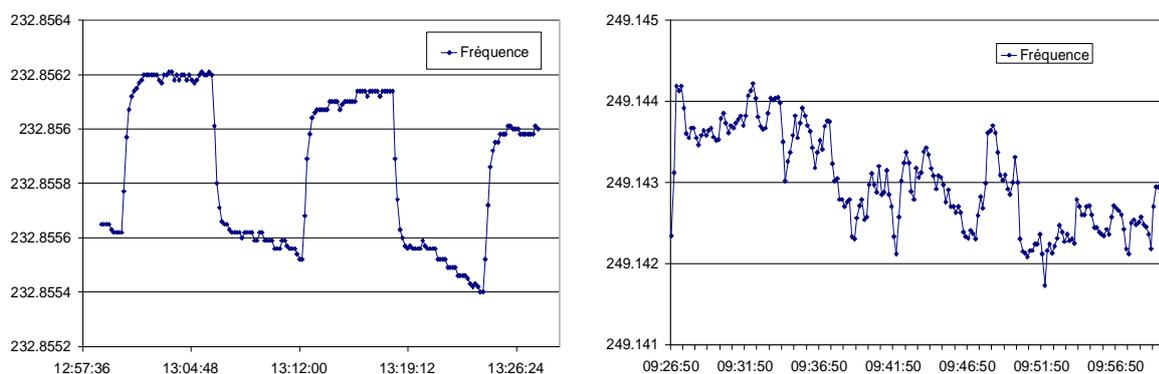


Figure 2: exemples de fréquence satisfaisante (à gauche) et non satisfaisante (à droite)

2.3 POMPE

Le bon fonctionnement du TEOM-FDMS requiert une protection adéquate de l'instrument contre toutes vibrations, et notamment celles provenant de la pompe par propagation à travers les tuyaux (dans ce cas, ne pas chercher à minimiser la longueur du tube joignant la pompe à l'instrument, isoler mécaniquement la pompe, et/ou fixer les tuyaux indépendamment de l'instrument), ou provenant de la tête de prélèvement par propagation à travers le raccord rigide (dans ce cas, mettre en place un raccord souple).

Il est également recommandé d'éviter d'installer l'instrument au centre de l'abri, en particulier dans les cas de cabine ayant un plancher et/ou un plafond propice à la propagation de vibrations.

Par ailleurs, l'expérience montre que les pompes Thomas classiquement fournies par Thermo (y compris le modèle 2680 CGHI42) ne permettent pas d'obtenir une dépression suffisante après quelques mois de fonctionnement (environ 6 mois). L'efficacité de ces pompes à piston décroît quasi-linéairement avec le temps. **Une maintenance ou un changement de pompe est à envisager lorsque :**

- **la dépression ne descend pas au moins à -25 inHg lors du test de fuite.**
- **la dépression n'est pas inférieure à -20 inHg en fonctionnement normal.**

Deux possibilités sont proposées ci-dessous pour optimiser le pompage :

1/ Deux pompes : une par circuit (cf Figure 3)

Les premiers retours montrent de bons résultats pour ce montage, avec une dépression passant par exemple de -19 inHg (avec une seule pompe) à -27 inHg (avec ce montage). Ce montage est préférable au montage de pompes en parallèle.

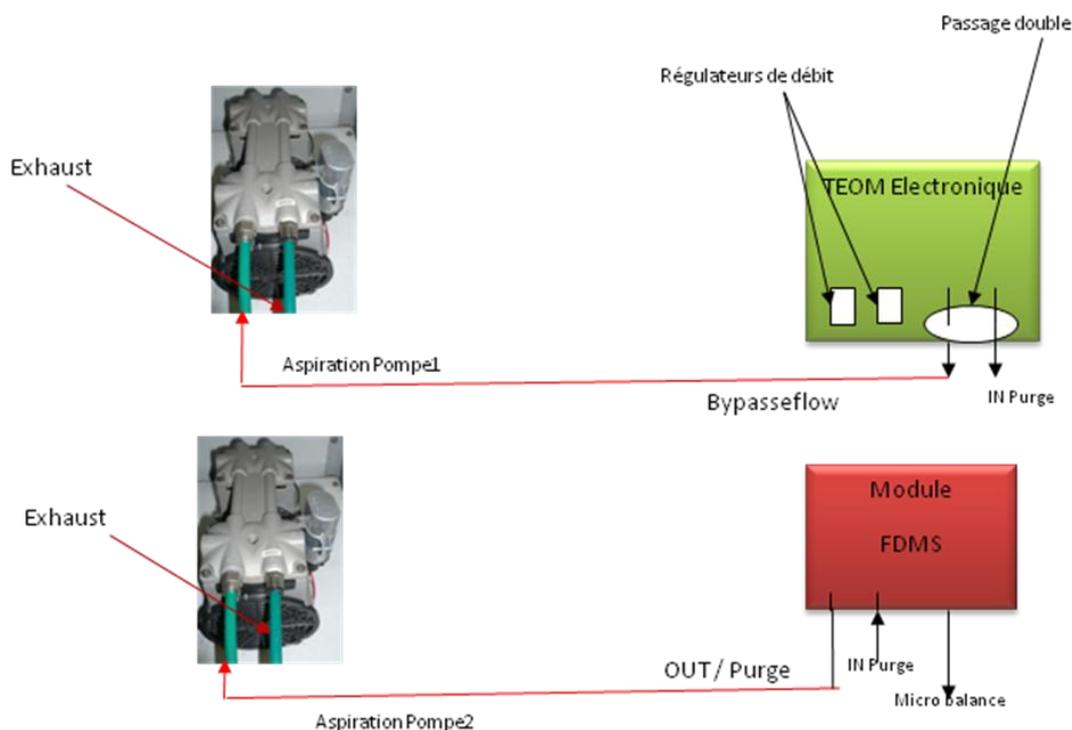


Figure 3 : Schéma du montage de deux pompes (une par circuit) (photo Madininair)

2/ Pompes à palettes

Deux types de pompes à palettes sèches, permettant le maintien d'une dépression constante au cours du temps, sont actuellement en fonctionnement dans les AASQA :

- Pompes à palettes graphite BUSCH Tiny SV1008.
- Pompes à palettes graphite Becker VT4.8.

Ces pompes à palettes sèches présentent l'avantage d'un entretien très facile (simple changement des palettes). Elles sont légèrement plus coûteuses à l'achat que les pompes Thomas, mais permettent une économie d'énergie, par comparaison notamment à la solution « deux pompes » présentée ci-dessus. Les premiers retours semblent indiquer une fréquence de maintenance comparable à celle des pompes à piston (~6 mois). Par ailleurs, il convient de munir ces pompes à palettes sèches de filtre permettant la récupération des poussières de graphite. Enfin, leur mise en œuvre en station engendre un bruit, de plus haute fréquence que celle des pompes à piston, pouvant occasionner une gêne pour l'opérateur.

Des pompes à huile (moins énergivores) sont actuellement testées dans certaines AASQA.

2.4 RACCORDS RAPIDES

Afin de s'assurer d'une bonne étanchéité des circuits fluides, il est d'usage au sein des AASQA de remplacer (ou d'installer) certains raccords rapides d'origine par des raccords en laiton, notamment au niveau de l'unité centrale, de la microbalance, et des entrées/sorties du module FDMS.

Il est à noter que le raccord d'origine peut fonctionner correctement dès lors qu'à chaque démontage on coupe la partie du tube qui a déjà été mise en place dans le raccord. Un coupe-tube permet une coupe nette sans bavure.

Par ailleurs, des raccords de type CPC sont fréquemment montés sur les portes filtres haute capacité, installés en entrée de l'unité centrale (cf. photos ci-dessous).



2.5 TETE DE PRELEVEMENT

Afin de limiter l'intrusion d'eau liquide dans la ligne de prélèvement et dans l'instrument, il est recommandé d'utiliser des têtes de coupure à chevrons, présentant les mêmes caractéristiques de coupure que les têtes plates mais ayant l'avantage de protéger plus efficacement la ligne de prélèvement contre les infiltrations d'eau dans les environnements soumis à des pluies rasantes (bord de mer par exemple) ou à d'intenses dépressions orageuses.

2.6 PARAMETRES D'INTERET

Les paramètres de fonctionnement du TEOM-FDMS potentiellement les plus intéressants sont:

Concernant le bon fonctionnement général de l'instrument

- Le statut de l'instrument « Status » (code PRC 41) : reportant le mode de fonctionnement de l'instrument ainsi que les éventuels codes d'erreur, référencés par différentes lettre (cf. manuel d'utilisation)

Concernant la mesure des concentrations

- la « Base Mass Conc » (code PRC 102) : moyenne horaire glissante rafraîchie toutes les 6 minutes des mesures en mode « Base » (ce qui fait en fait une moyenne des 5 dernières mesures)
- la « Réf Mass Conc » (code PRC 104) : moyenne horaire glissante rafraîchie toutes les 6 minutes des mesures en mode « Référence » (ce qui fait en fait une moyenne des 5 dernières mesures)
- la « Mass Conc » (code PRC 8) : moyenne horaire glissante rafraîchie toutes les 6 minutes (des 10 dernières mesures, 5 « Base » et 5 « Référence », que la dernière mesure soit une base ou une réf)

Concernant le fonctionnement de la microbalance

- la fréquence de la microbalance (code PRC 012)
- le bruit (code PRC 013)
- la charge du filtre de collection (code PRC 035)

Concernant l'efficacité de séchage

- la dépression en amont de la pompe
- la température en entrée de sécheur (code PRC 112)
- l'humidité relative en entrée de sécheur (code PRC 113)
- la température de point de rosée ambiant (code PRC 114)
- la température en sortie de sécheur (code PRC 110)
- l'humidité relative en sortie de sécheur (code PRC 111)
- la température de point de rosée échantillon, en sortie de sécheur (code PRC 99)

Ces 6 derniers paramètres sont redondants, et il est probablement suffisant de se limiter au suivi des points de rosée « ambiant » et « échantillon » (qui sont fonction de la température et de l'humidité relative en entrée et sortie de sécheur).

Par ailleurs, si la fréquence de la microbalance est un paramètre clé du bon fonctionnement de l'instrument, la collecte des données quart-horaires par le biais de systèmes d'acquisition de mesures ne permet pas un suivi adéquat de ce paramètre.

Ainsi, les AASQA suivent généralement en continu (mesures quart-horaires) le statut, les trois paramètres relatifs aux concentrations, le bruit, la charge du filtre ainsi que les deux températures de points de rosée.

La mesure par TEOM1400AB - FDMS 8500 ne prévoit pas de mesure en continu de la dépression en amont de la pompe (contrairement aux nouveaux modèles de type 1405F et 1405DF). En raison de l'importance de ce paramètre sur l'efficacité de séchage, il est conseillé de procéder à l'installation d'un pressostat en amont de la pompe et à son raccordement au système d'acquisition de mesure de la station.

3. AUDITS ET MAINTENANCES

3.1 TABLEAU SYNTHETIQUE DES AUDITS ET MAINTENANCES

L'ensemble des audits et maintenances à mettre en œuvre pour un bon fonctionnement du TEOM-FDMS est résumé dans le tableau ci-dessous :

Paramètre	Réf.	Fréquence	Vérification
Vérification de la dépression (dP) en amont de la pompe			
Dépression (dP) mesurée au plus près de la sortie outlet	2.3	Au minimum une fois par mois / Routine sur site	Remplacement/révision de la pompe, ou recherche de fuite si dP > -20 inHg (valeur de -22 inHg conseillée)
	2.6	Conseillé : capteur pour suivi continu	
	3.2		
Maintenance du sécheur			
Remplacement des membranes desséchantes	3.3	Suivant site Conseillé : au minimum tous les 2 ans	Température de point de rosée échantillon > 0°C sur une période de six heures. Ecart entre températures de point de rosée ambiant et point de rosée échantillon < 8°C sur une période de six heures.
Remplacement des filtres			
Remplacement du filtre de collection	3.4	Routine sur site, au minimum tous les 3 mois (1 mois conseillé)	Remplacement si > 85%
Remplacement du filtre de purge	3.4	En même temps que filtres de collection	
Remplacement filtres « haute capacité »	3.4	suivant site, au minimum tous les 6 mois	
Vérification des débits			
Carte analogique		A l'installation, puis au minimum une fois par an	Réglage selon manuel
Débit "Main-Flow"	3.5	A l'installation, puis au minimum tous les 6 mois	Réglage si $ D_{\text{étalon}} - D > 2,5\% D_{\text{initial}}$ Renvoi constructeur si $ D_{\text{étalon}} - D > 5\% D_{\text{initial}}$
Débit "Aux-Flow"	3.5	A l'installation, puis au minimum tous les 6 mois	Réglage si $ D_{\text{étalon}} - D > 5\%$ de D_{initial} Renvoi constructeur si $ D_{\text{étalon}} - D > 10\%$ de D_{initial}
Vérification étanchéité			
Offset : Valeurs des 2 débits (l/mn) sans pompe	3.6.1	A l'installation, puis au minimum tous les 6 mois ou à chaque réparation ou entretien touchant les connexions	<0.15 l/mn
Prise des débits circuit fermé, en position base et ref	3.6.1	A l'installation, puis au minimum tous les 6 mois ou à chaque réparation ou entretien touchant les	$ V_{\text{lue}} - \text{Offset} < 0,60$ l/mn sur Aux-Flow $ V_{\text{lue}} - \text{Offset} < 0,15$ l/mn sur Main-Flow

Paramètre	Réf.	Fréquence	Vérification
		connexions	
Vérification de la dépression vanne fermée	3.6.1	A l'installation, puis au minimum tous les 6 mois ou à chaque réparation ou entretien touchant les connexions	< -25 inHg (valeur de -28 inHg conseillée)
Vérification tenue de la dépression, en position base et ref	3.6.1	A l'installation, puis au minimum tous les 6 mois ou à chaque réparation ou entretien touchant les connexions	Variation de moins de 1 inHg sur 30s.
Nettoyage/vérification de la vanne de translation	3.6.3	Au minimum une fois par an (conseillé)	
Vérification du blanc d'instrument			
Test de blanc d'instrument	3.7	A l'installation, puis au minimum une fois par an (conseillé)	
Vérification de la microbalance			
Constante K0	3.8	A l'installation, puis au minimum une fois par an et après réparation de la microbalance	Tolérance : $ K0_{\text{étalon}} - K0 < 2,5\%$
Test de stabilité de la fréquence	2.2 3.8	A l'installation, puis après réparation de la microbalance	
Vérification des sondes de température et pression			
Vérification de la sonde de température		A l'installation, puis au minimum une fois par an	Réglage si $ T_{\text{étalon}} - T_{\text{sonde}} > 2^{\circ}\text{C}$ Renvoi constructeur si $ T_{\text{étalon}} - T_{\text{sonde}} > 4^{\circ}\text{C}$
Vérification de la sonde de pression		A l'installation, puis au minimum une fois par an	Réglage si $ P_{\text{étalon}} - P_{\text{sonde}} > 10 \text{ hPa}$ Renvoi constructeur si $ P_{\text{étalon}} - P_{\text{sonde}} > 20 \text{ hPa}$
Calibration des sondes de pression et de température		Une fois par an	
Vérification point de rosée ambiant et échantillon		A chaque maintenance du sécheur, garantie par le constructeur (?)	
Nettoyage de la tête de prélèvement			
Nettoyage		Suivant site, au minimum tous les 3 mois	
Inter-comparaison			
Comparaison 2 à 2, ou avec mesures gravimétriques		Optionnel A réception, périodiquement sur site	

Tableau 1 : Tableau synthétique des audits et maintenances

3.2 VERIFICATION DE LA DEPRESSION EN AMONT DE LA POMPE

La dépression générée par la pompe est un paramètre primordial pour le bon fonctionnement du sécheur.¹ Plusieurs solutions sont proposées au paragraphe 2.3 afin d'optimiser ce paramètre.

En conformité avec les recommandations du constructeur, une valeur seuil d'acceptabilité de -20 inHg est recommandée ici. Dans certains cas, des mesures de qualité satisfaisante peuvent être obtenues pour des dépressions plus faibles. Néanmoins, **afin d'assurer une dépression optimum, il est conseillé d'envisager une révision de la pompe lorsque ce paramètre passe au dessus de -22 inHg (voire -24 inHg dans des environnements chauds et humides).**

3.3 MAINTENANCE / VERIFICATION DU SECHEUR

La durée de vie du sécheur du module FDMS varie selon les conditions d'utilisation de l'instrument (utilisation en continu/périodique, conditions climatiques ambiantes, nature des polluants en phase gazeuse, ...). Plusieurs retours d'expérience montrent également, que pour une même condition d'utilisation, cette durée de vie varie d'un sécheur à l'autre. Il est ainsi très délicat d'estimer une durée de vie moyenne du sécheur. Il semble néanmoins que cette durée de vie soit, d'une manière générale, inférieure à 3 ans en France métropolitaine (et inférieure à 18 mois dans les DOM-TOM) pour les sécheurs de type C. Il est donc conseillé de procéder au **changement des membranes desséchantes tous les 2 ans en France métropolitaine, et tous les ans dans les DOM-TOM.**

Le respect de ce critère devrait permettre de s'assurer d'une bonne qualité de séchage, de façon simple.

Par ailleurs, bien qu'étant un paramètre clé du bon fonctionnement du TEOM-FDMS, la vérification de l'efficacité du sécheur au cours du temps reste à l'heure actuelle encore très délicate. Différents travaux sont actuellement en cours, notamment au sein du LCSQA, afin de définir des critères pertinents permettant d'évaluer cette efficacité de séchage.

Une première approche consiste à suivre l'humidité relative de l'échantillon (en sortie du sécheur). De façon évidente, plus le sécheur est efficace, plus l'humidité relative en sortie est faible. Néanmoins, l'humidité relative en sortie dépend également de l'humidité relative en entrée, et de la température de l'échantillon.

Ainsi, le constructeur propose un suivi de l'évolution de la température du point de rosée, qui est fonction de l'humidité relative et de la température, en amont et en aval du sécheur. Néanmoins, seule la température du point de rosée en sortie est soumise à un critère d'acceptabilité (<2°C). Si ce critère n'est pas respecté, le code d'erreur D est reporté dans les statuts de l'instrument. En réalité le respect de cette consigne permet d'éviter la condensation d'eau sur le filtre de purge, mais ne garantit pas un fonctionnement optimum du sécheur. **Fixer une valeur limite légèrement négative (-4°C par exemple) pour la température du point de rosée échantillon permettrait certainement de s'assurer plus efficacement d'une bonne qualité de séchage.** Néanmoins, dans le cas d'un air ambiant très chaud (et humide), ce dernier critère peut ne pas être respecté par des sécheurs pourtant efficaces.

Différents retours d'expériences indiquent qu'un critère d'acceptabilité basé sur **l'écart entre les températures de points de rosée amont et aval** semble plus pertinent, et que cet écart doit se situer **au minimum aux alentours de 10°C** pour s'assurer d'un séchage

¹ Rapport LCSQA 2009 (A. Ustache et O. Favez) : <http://www.lcsqa.org/rapport/2009/ineris/suivi-optimisation-utilisation-teom-fdms-22-accompagnement-mise-oeuvre-modules-f>

efficace. Néanmoins, dans le cas d'un air ambiant très sec, ce dernier critère peut ne pas être respecté par des sècheurs pourtant efficaces.

Ainsi, les informations disponibles à ce jour semblent indiquer qu'**un changement des membranes desséchantes doit être réalisé** (si tous les autres critères de bon fonctionnement de l'instrument sont respectés) **dès que la température du point de rosée échantillon est positive et que l'écart des températures de points de rosée amont et aval est inférieur à 8°C, en moyenne sur 6 heures consécutives.** Dans l'un ou l'autre de ces deux cas, il convient de s'interroger sur l'efficacité du séchage.

Un protocole de montage/démontage du sècheur du module FDMS (proposé par Thermo) est présenté en Annexe 1.

Remarque : dans le cas d'un air ambiant chaud et humide, le constructeur préconise d'élever la température du filtre de purge à 10°C (au lieu de 4°C). Ceci permet d'éviter la condensation d'eau sur le filtre de purge mais ne garantit en aucun cas un séchage plus efficace.

3.4 CHANGEMENT DES FILTRES

3.4.1 FILTRE DE COLLECTION

La fréquence de remplacement du filtre de collection est variable selon le type de site étudié (et selon les AASQA).

Afin d'éviter les risques de saturation pouvant intervenir très rapidement lorsque la charge du filtre dépasse 85%, il est vivement conseillé de changer le filtre de collection dès que ce taux de charge est atteint.

Par ailleurs, des problèmes de perte de charge trop importante, conduisant à une mauvaise régulation du débit, ont été constatés sur certains sites avant même que le taux de charge du filtre de collection n'atteigne 85%. Ce phénomène semble être lié à la nature et à la taille des particules. De ce fait, un changement mensuel du filtre de collection est vivement conseillé. Les recommandations suivantes doivent être suivies :

- Ne pas toucher le filtre de collection, avec les doigts ; utiliser une pince adaptée (fournie avec l'instrument).
- Réaliser le changement du filtre de collection en mode « data stop ».
- Il est conseillé de pré-conditionner le filtre de collection vierge à l'intérieur de la microbalance, lors de la cession de mesure précédente. Dans le cas contraire, il est conseillé d'installer le filtre neuf en deux temps : 1) installer le filtre de collection neuf et refermer la microbalance, 2) attendre environ 5min puis vérifier la bonne installation du filtre en exerçant de nouveau une légère pression en surface à l'aide de la pince.

Remarque : une mauvaise installation du filtre de collection ou l'installation d'un filtre de collection de conception défectueuse engendre une instabilité de la mesure et/ou un bruit trop important (cf. partie 4).

3.4.2 FILTRE DE PURGE

Il convient de changer le filtre de purge lors de chaque changement du filtre de collection.

Afin de limiter le risque d'entrée de l'humidité à l'intérieur du circuit d'air du TEOM-FDMS et de réduire les temps de redémarrage consécutifs aux changements de filtre de purge du TEOM-FDMS, il est recommandé de :

- Préparer à l'avance un filtre de purge neuf inséré dans un porte-filtre. Le protéger correctement s'il n'est pas préparé sur site,
- **Forcer le TEOM-FDMS en mode "Base"**. Pour cela : mettre l'analyseur en mode stop, taper 14 ENTER puis F8 pour sélectionner la voie. Afin d'éviter un éventuel basculement de la vanne lors de l'opération, il est également recommandé de couper l'alimentation électrique du module FDMS lors du changement de filtre de purge,
- Ouvrir la trappe du filtre de purge, enlever l'ancien filtre (avec son porte filtre), mettre le nouveau et refermer la trappe dans un délai le plus court possible.
- Ne pas toucher le filtre de purge avec les doigts ; utiliser une pince propre et/ou des gants non poudrés.

3.4.3 FILTRES « HAUTE CAPACITE »

Les filtres « haute capacité » sont généralement montés à l'envers (flux d'air en sens inverse de la flèche) afin de pouvoir suivre l'encrassement du filtre au cours du temps.

Le filtre « haute capacité » de la ligne principale étant soumis à un encrassement beaucoup plus faible que celui de la ligne auxiliaire, il est d'usage dans certaines AASQA de remplacer le filtre de la ligne auxiliaire par celui de la ligne principale, et de monter un filtre neuf sur cette dernière ligne, lorsqu'un changement du filtre de la ligne auxiliaire s'avère nécessaire (au minimum une fois par semestre).

3.5 VERIFICATION DES DEBITS

La vérification des débits se fait de préférence en tête de ligne (après « acclimatation » du débitmètre aux conditions de température et pression ambiantes).

En pratique, cette vérification est à réaliser sur chacune des deux lignes (« Aux Flow » et « Main Flow »). La vérification du débit auxiliaire peut être réalisée directement en tête de ligne auxiliaire, une fois celle-ci déconnectée du « Flow splitter ». La vérification du débit principal peut être réalisée en tête du « Flow splitter », à l'aide de l'adaptateur de débit, une fois la « sortie auxiliaire » du « Flow splitter » bouchée.

Un autre protocole possible consiste à vérifier successivement ces deux débits en tête du « Flow splitter », à l'aide de l'adaptateur de débit, en fixant à zéro successivement chacun des deux débits de consigne.

3.6 VERIFICATION DE L'ETANCHEITE DES CIRCUITS FLUIDES

3.6.1 TESTS DE FUITE

Le test de fuite doit être réalisé dans les deux positions de la vanne à translation du module FDMS (i.e. sur la voie REF et sur la voie Base ; mettre l'analyseur en mode stop, taper 14 ENTER puis F8 pour sélectionner la voie). Afin d'éviter un éventuellement basculement de la vanne lors de l'opération (risquant d'altérer le bon fonctionnement de la vanne), il est également recommandé de couper l'alimentation électrique du module FDMS lors du test de fuite.

Il est conseillé d'effectuer le test de fuite selon le protocole suivant :

- Couper l'alimentation électrique de la pompe et faire une lecture de l' « offset » des débits. Une valeur maximum d'offset de 0,15 l/min est conseillée.

- Installer une vanne d'isolation (vannes à boisseau sphérique PN25 présentant un passage de 3/8"), ainsi qu'un manomètre, en amont de la pompe à vide. La vanne et le manomètre peuvent être installés en permanence ou bien uniquement lors du test de fuite. Le manomètre doit être situé entre la vanne et le TEOM-FDMS.
- Installer un adaptateur de débit sur le « flow splitter » (à la place de la tête de prélèvement).
- Redémarrer la pompe.
- Fermer l'adaptateur de débit installé sur le flow splitter, et attendre environ 1 minute que le système soit sous vide.
- Faire une lecture des débits (stabilisés). Ceux-ci doivent être inférieurs à 0,60 l/min et 0,15 l/min respectivement sur la ligne de « by-pass » (« Aux Flow ») et sur la ligne principale (« Main Flow »), une fois l'« offset » soustrait.
- Faire une lecture de la dépression. Le manomètre du TEOM-FDMS doit descendre aux alentours de -28 inHg. Prévoir la révision ou le remplacement de la pompe si la dépression ne descend pas en dessous de -25 inHg.
- Fermer la vanne d'isolation de la pompe.
- Observer l'aiguille du manomètre. La dépression ne doit pas varier de plus de 1 InHg (soit environ 34 Hpa) en 30 secondes. Si ce critère n'est pas respecté, procéder à une détection de fuite, puis recommencer le test.
- Si le test est concluant, ouvrir la vanne d'isolation de la pompe, puis **ouvrir l'adaptateur de débit très lentement**.

Un exemple de logigrammes utilisés au sein des AASQA pour la réalisation des tests de fuite est présenté en Annexe 2 (logigrammes Air Breizh).

Remarque: L'expérience montre que la répétition trop fréquente de mise en œuvre de tests de fuite est susceptible d'altérer le bon fonctionnement de l'instrument. Une procédure permettant de **vérifier l'étanchéité du système sans avoir recours à sa mise sous vide poussé** a récemment été proposée par Jim Mills (de la société « Air Monitors Ltd», distributeur des TEOM-FDMS au Royaume-Uni). Une première version française de cette procédure, proposée par *Ecomesure*, est présentée en **Annexe 3**. En 2011, le LCSQA souhaiterait pouvoir bénéficier de retours d'expérience, de la part d'*Ecomesure* et d'AASQA volontaires, sur la mise en œuvre de ce type de tests de fuite.

3.6.2 VERIFICATIONS DES JOINTS ET RACCORDS RAPIDES

Tout raccord ou joint défectueux est susceptible de provoquer une mauvaise étanchéité du système. Des propositions d'optimisation de l'étanchéité au niveau des raccords rapides sont présentées au paragraphe 2.4. Concernant les joints, il est vivement conseillé de surveiller en particulier ceux situés au niveau de la trappe d'accès au filtre de purge, entre le tube chauffé et la microbalance, en sortie de microbalance, au niveau de la sonde de température ainsi que le joint à lèvres de la trappe d'ouverture de la microbalance.

3.6.3 FUITE AU NIVEAU DE LA VANNE A TRANSLATION DU MODULE FDMS

Une fuite au niveau de la vanne à translation du module FDMS ne sera pas forcément détectée lors des tests de fuite décrits ci-dessus. En effet, lors de ces tests de fuite, la dépression générée peut entraîner un « plaquage », ne permettant pas de détecter une fuite, en utilisation normale, due à une mauvaise fixation des vis de serrage de la vanne.

Ce type de fuite peut être détecté, en utilisation normale, par le contrôle du débit sur la ligne principale (« Main Flow »), par exemple :

- débit durant le cycle de base > 3 l/min
- débit durant le cycle de référence < 3 l/min.

La fuite peut également être détectée par l'étude de la différence de température du point de rosée selon le cycle (mode « Base » ou « Ref »), ainsi que par une incohérence des signaux en modes « Base » et « Ref » (cf. Figure 5).

Une notice pour l'entretien de la vanne à translation du module FDMS (proposée par Ecomesure) est présentée en Annexe 4. Cette notice décrit notamment les opérations de démontage, nettoyage, graissage, remontage et ajustement mécanique des différents composants de la vanne FDMS.

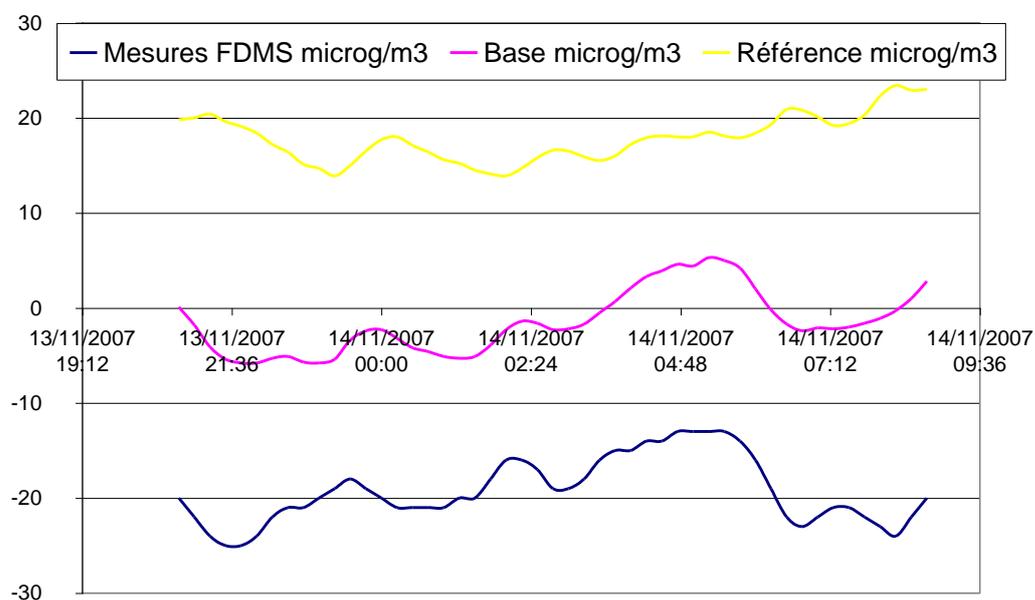


Figure 5 : Exemple de défaillance de la mesure suite à une fuite au niveau de la vanne (Données Atmo Poitou-Charente)

Remarque : il arrive dans certains cas (défaillance du fusible, de la carte électronique, du logiciel, ...) que la vanne ne permute plus. Dans ce cas, la mesure se fait en continu sur la voie « Base » ou « Ref » (pas de différence significative de la valeur mesurée dans ces deux modes). Un redémarrage de l'instrument ou une réinstallation du logiciel peut suffire à la résolution de ce problème (sinon, procéder à la vérification de la vanne et/ou voir avec le distributeur).

Remarque : l'usure des bandelettes en Teflon de la vanne (cf Annexe 3) peut être à l'origine du frottement des pièces métalliques entre elles lors de la permutation de la vanne. Ce phénomène provoque la génération de particules dans le circuit fluide. Ces particules, ayant déjà été observées sur le filtre de collection, peuvent engendrer une surestimation de la mesure des PM dans l'air ambiant.

3.7 VERIFICATION DU BLANC D'INSTRUMENT

La vérification du blanc (ou zéro) d'instrument constitue un moyen simple de s'assurer du bon fonctionnement du TEOM-FDMS. Il est conseillé de réaliser cette vérification sur site,

à l'installation de l'instrument, après toute maintenance du sécheur, et en routine une fois par an, en respectant le protocole suivant (inspiré de ceux proposés par Ecomesure et Thermo) :

- Changer les filtres de collection et de purge.
- S'assurer de l'étanchéité du système (cf. 3.6.1), du bon fonctionnement de la pompe (cf. 3.2) et de la microbalance (cf. 3.8), ainsi que de la climatisation adéquate de la station (cf. 2.1).
- Retirer la tête de prélèvement et la remplacer par un filtre « haute capacité » (en prenant soin d'éviter toute insertion d'eau dans la ligne).
- Laisser le TEOM-FDMS en mode mesure pendant un minimum de 32 heures.
- Etudier les moyennes et écart-types des concentrations (« Mass Conc », « Base Mass Conc » et « Ref Mass Conc ») correspondant aux 8 dernières heures de fonctionnement avec le filtre « haute capacité » en tête de ligne. Si les moyennes et écart-types sont compris respectivement entre -2 et +2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et -5 et +5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, alors le blanc d'instrument peut être considéré comme satisfaisant. Dans le cas contraire, il convient de s'interroger sur la qualité des audits et maintenances effectués, et en dernier recours, sur le bon fonctionnement du sécheur.

3.8 VERIFICATION DE LA MICROBALANCE

Une première vérification de la microbalance consiste à comparer (et éventuellement ajuster) la constante massique de K0 paramétrée dans l'instrument à celle mesurée à l'aide du K0 étalon fourni par le distributeur français. Il est également recommandé de vérifier la linéarité de la mesure de masse à l'aide des cales étalon fournies aux AASQA par le LCSQA/EMD².

Par ailleurs, il convient d'étudier la stabilité de la fréquence de l'élément oscillant, par simple observation des variations temporelles de ce paramètre (sur un pas de temps de l'ordre de 10s). L'allure de la courbe de fréquence d'un TEOM-FDMS en fonctionnement normal est présentée au chapitre 2.2 du présent guide.

Enfin, il est à noter qu'un décrochement des aimants et/ou du capteur de fréquence peut se produire sur des microbalances « âgées », en particulier lors du test de fuite (si remise sous pression trop rapide).

² Rapport LCSQA 2006 (F. Mathé) : <http://www.lcsqa.org/rapport/2006/emd/mise-disposition-reseau-moyens-contrôle-mesures-particules-suspension>

4. ASSURANCE QUALITE DES DONNEES

4.1 TABLEAU SYNTHETIQUE POUR LA VALIDATION TECHNIQUE

Afin de s'assurer de la qualité des données produites par le TEOM-FDMS, il est essentiel de mettre en place un suivi du fonctionnement de l'appareil basé sur la vérification en routine des paramètres d'intérêt, tel que proposé dans le tableau ci-dessous :

Paramètre	Vérifications quotidiennes	Vérifications hebdomadaires
Base Mass Conc	> 0 Cohérence par rapport aux sources potentielles.	
Ref Mass Conc	< 0 Cohérence par rapport aux sites voisins et conditions météo.	Cohérence de son évolution dans le temps (expertise propre par rapport aux conditions météo. et sources potentielles). Vérification de la dérive à long terme des valeurs maximales (proches de zéro).
Mass Conc	= Base - Ref	Cohérence de son évolution dans le temps (expertise propre par rapport aux conditions météo. et sources potentielles).
Bruit microbalance	< 0.005 Expertise.	
Ecart mesuré sur le site de référence	Cohérence par rapport à « Ref Mass Conc ».	Cohérence par rapport aux sites de référence voisins (direct ou via Baster). Cohérence de son évolution dans le temps.
Température du point de rosée échantillon		< 0°C Vérifications de la dérive à long terme des valeurs maximales.
Ecart entre les températures de points de rosée échantillon et ambiant		> 8°C Vérification de la dérive à long terme.
Charge du filtre de la microbalance		< 85%
Dépression en amont de la pompe		< -20 inHg Vérification de la dérive à long terme
Température de la station		<25°C Pas de variations supérieures à 2°C par heure

Tableau 2 : Tableau synthétique pour la validation technique

Ce tableau dresse une liste des paramètres d'intérêt à surveiller 1) au jour le jour, et 2) une fois par semaine (ou une fois tous les quinze jours selon les AASQA). Pour ces dernières vérifications, les critères reportés correspondent à ceux détaillés aux chapitres 2 et 3 de ce guide. La vérification de ces paramètres est également utile à la compréhension de problèmes éventuellement détectés lors de la vérification des paramètres à surveiller quotidiennement.

La cohérence temporelle et spatiale des concentrations obtenues à l'aide de TEOM-FDMS est discutée ci-dessous.

4.2 VALIDATION TECHNIQUE AU JOUR LE JOUR

4.2.1 CONCENTRATIONS

Le suivi au jour le jour du bon fonctionnement du TEOM-FDMS peut être réalisé à partir des données fournies par l'instrument, en particulier celles correspondant aux mesures en mode « Ref ».

Le signal « Base Mass Conc » est, en théorie, toujours positif et ses variations temporelles sont fonctions du type de site (nature des sources) et des conditions climatiques (dynamique atmosphérique).

Le signal « Ref Mass Conc » est, en théorie, toujours négatif et ses variations temporelles sont fonctions de la quantité de matière semi-volatile (essentiellement nitrate d'ammonium, composés organiques semi-volatiles et eau) au sein de l'aérosol. D'une manière générale, ce signal est plus important (en valeur absolue) en hiver qu'en été, et la nuit que le jour. La matière semi-volatile résultant principalement de la formation d'aérosols secondaires, sa concentration atmosphérique est globalement homogène par « bassin d'air ». Il est ainsi possible de vérifier la cohérence du signal « Ref Mass Conc » par comparaison avec ceux mesurés par des TEOM-FDMS sur des sites voisins. Dans les cas de déviations significatives par rapport aux mesures réalisées sur ces sites voisins (expertise propre à chaque AASQA), et dans les cas d'un signal « Ref » fortement et/ou durablement positif, il est suggéré de vérifier en premier lieu :

- la régulation de la température dans la station,
- l'étanchéité des deux circuits fluide,
- la régulation de la température dans le module à effet Peltier, ainsi que l'intégrité du filtre de purge,
- la dépression en amont de la pompe,
- le fonctionnement du sécheur (températures des points de rosée).

Le signal « Mass Conc » doit être égal à la différence entre le signal « Base Mass Conc » et « Ref Mass Conc ».

Dans le cas de très faibles concentrations en particules dans l'air prélevé (mesures par temps de pluie, vérification du blanc d'instrument) des valeurs légèrement négatives de « Mass Conc » peuvent être obtenues (e.g. jusqu'à $-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en mesures quart-horaires). Ces valeurs légèrement négatives, généralement dues à des valeurs légèrement positives du signal « Ref Mass Conc », ne sont pas forcément révélatrices d'un dysfonctionnement de l'instrument, mais peuvent être considérées comme étant inférieures à sa limite de quantification. **D'un point de vue métrologique, il n'y a donc pas d'incohérence à conserver ces valeurs faiblement négatives dans le calcul des moyennes horaires / journalières / annuelles.**

De la même façon, il n'est pas, en soi, aberrant d'obtenir des moyennes horaires négatives à partir de données TEOM-FDMS validées. Néanmoins, la diffusion de ce type de valeurs pouvant être mal comprise par le public, la plupart des AASQA force artificiellement ces valeurs à zéro (ou les invalide). Différents retours d'expérience indiquent que ce forçage à zéro ne modifie pas sensiblement les moyennes annuelles, ni le nombre total de dépassements de la valeur limite journalière.

4.2.2 BRUIT

Le suivi du bruit de l'instrument au jour le jour est également très utile à la validation des concentrations mesurées par le TEOM-FDMS. En fonctionnement normal, il est typiquement inférieur à 0,005. Une augmentation brusque de ce paramètre est généralement due à un choc sur l'instrument ou sur la ligne de prélèvement, mais

également à un problème relatif au filtre de collection (filtre défectueux, mauvaise installation du filtre, saturation du filtre, dépôt d'une gouttelette d'eau ou une grosse particule sur le filtre), à une fuite ou à un dysfonctionnement de la microbalance.

4.2.3 ECART MESURE SUR LE SITE DE REFERENCE

Le dispositif national de surveillance des PM intègre depuis 2007 l'ajustement des mesures obtenues par TEOM 1400AB seul à partir de l'écart calculé sur un site de référence voisin entre une mesure par TEOM-FDMS et une mesure par TEOM seul. Concrètement, cet ajustement est réalisé par ajout du résultat de la moyenne glissante sur 4 heures de cet écart aux mesures quart-horaires obtenues par TEOM seul.

La validation de l'écart mesuré sur le site de référence découle de la validation indépendante des mesures TEOM-FDMS et TEOM seul. Une vérification rapide de l'écart obtenu peut également être réalisée en routine par comparaison avec les mesures validées en mode « Ref ». En effet, différentes études montrent une bonne concordance de ces deux paramètres³ (cf Figure 6). En pratique, cette vérification permet éventuellement de détecter un dysfonctionnement du TEOM seul et/ou de vérifier le calcul de l'écart lissé.

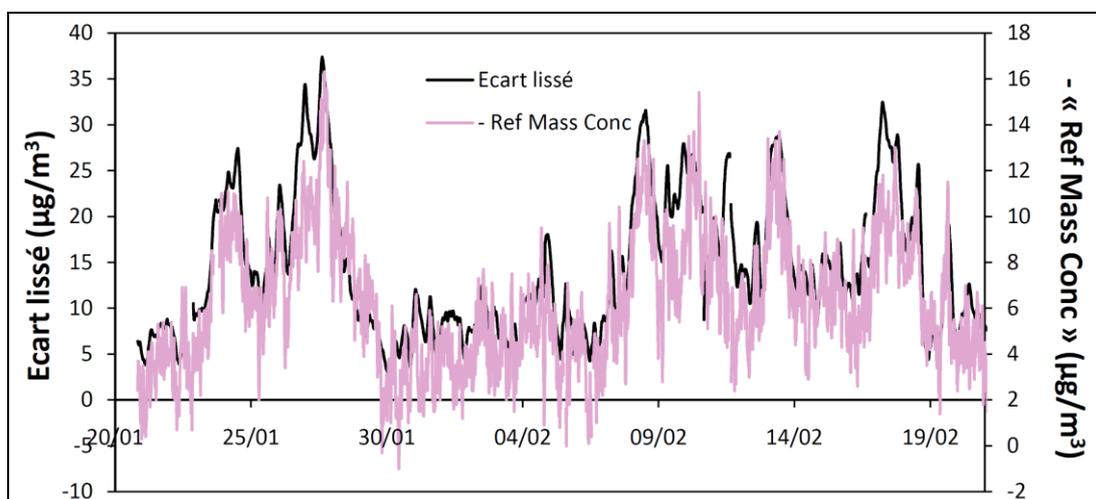


Figure 6: Exemple de co-variation de l'écart (TEOM/FDMS - TEOM seul) lissé et du signal « - Ref Mass Conc ». Données LCSQA/INERIS, campagne d'hiver MEGAPOLI sur le plateau de Saclay (Essonne). Un coefficient de corrélation (r^2) de 0.72 et une pente de 2.3 sont obtenus pour cette série de données.

De la même façon que pour le signal « Ref Mass Conc », l'écart lissé est relativement homogène sur certaines zones géographiques⁴. Il est ainsi possible de valider cet écart par comparaison avec les résultats obtenus sur les sites de référence voisins.

Un problème de validation des données se posant régulièrement aux AASQA est le

³ "Development and validation of the volatile correction model for PM10 - An empirical method for adjusting TEOM measurements for their loss of volatile particulate matter" (2009) D.C. Green, G.W. Fuller et T. Baker, *Atmospheric Environment*, 43, 2132-2141.

⁴ Rapport LCSQA 2008 (B. Bessagnet, L. Malherbe et G. Aymoz) : <http://www.lcsqa.org/rapport/2008/ineris/bilan-1ere-annee-mesure-pm10-ajustees-france-evaluation-outils-modelisation>

traitement des écarts lissés négatifs. Ce problème est généralement rencontré lors de conditions défavorables à la formation et/ou au passage dans la phase particulaire de composés semi-volatiles. Dans ce cas, les valeurs mesurées par TEOM-FDMS et par TEOM seul sont très proches, d'autant plus que le logiciel de traitement de données utilisé pour le TEOM seul intègre systématiquement une correction de type $y = 1,03x + 3$ aux données brutes. Compte tenu de l'existence de ce facteur correctif sur les mesures par TEOM seul et de l'incertitude relativement élevée des mesures par TEOM (-FDMS) en particulier pour les faibles concentrations⁵, il n'est pas incohérent d'obtenir des valeurs d'écart lissé légèrement négatives (e.g. jusqu'à $-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) à partir de données TEOM-FDMS et TEOM seul validées.

Le choix de l'utilisation de ces écarts lissés légèrement négatifs, de leur forçage à zéro, ou de leur invalidation, est actuellement laissé à la libre appréciation des AASQA. D'un point de vue métrologique, leur utilisation pour l'ajustement des mesures TEOM seul n'est pas aberrant.

De la même façon que pour les mesures TEOM-FDMS proches de zéro, les AASQA peuvent alors rencontrer des difficultés liées à la diffusion au public de ces données, en particulier lorsque les concentrations en PM_{10} ajustés sont (légèrement) inférieures aux concentrations en $\text{PM}_{2.5}$. Un effort de pédagogie sur les incertitudes résultant de la mesure et du calcul d'ajustement peut alors s'avérer nécessaire.

5. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Mode opératoire <i>Thermo</i> pour le démontage du sécheur du FDMS	2
Annexe 2	Logigrammes Air Breizh pour la réalisation des tests de fuite	4
Annexe 3	Proposition <i>Ecomesure</i> d'une procédure de test de fuite sous faible dépression	3
Annexe 4	Mode opératoire <i>Ecomesure</i> pour la maintenance de la vanne à translation du FDMS	5

⁵ Rapport LCSQA 2009 (F. Marlière) : <http://www.lcsqa.org/rapport/2009/ineris/intercomparaisons-stations-mesures-premiere-intercomparaison-europeenne-pm10-44>

Annexe 1

Mode opératoire *Thermo* pour le démontage du sécheur du module FDMS

Remove panel

- Remove the screws from the back panel on the 8500 unit.



Remove the panel.



2 Proprietary & Confidential

ThermoFisher
SCIENTIFIC

Disconnect tubing



- Remove the two Teflon lines feeding to the conditioner assembly.
- Remove the two green vacuum lines from the Tee fittings on the side of the dryer.



Press against this locking ring while pulling in the opposite direction on the tube

The dryer fittings are PTC type fittings (push to connect). Push inward on the locking ring while pulling on the tube itself to disconnect.



3 Proprietary & Confidential

ThermoFisher
SCIENTIFIC

Disconnect dryer fittings

- Disconnect the fittings on either side of the dryer.



- Use two wrenches (7/8" or adjustable) to loosen the dryer fittings. Use one to hold the fitting attached to the dryer from moving and the other to loosen the nut.
- Disconnect the top fitting first and slide the tube up and away from the dryer
- Loosen the bottom fitting



4 *Proprietary & Confidential*

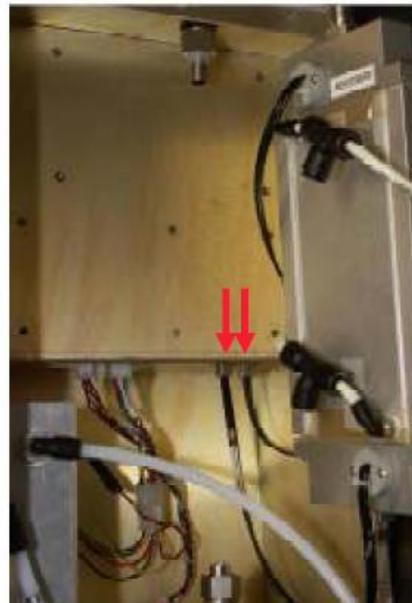
ThermoFisher
SCIENTIFIC

Remove the dryer

- Support the dryer with one hand and finish loosening the nut with the other to remove



- To make reassembly easier, label both of the dryer sensor cables as well as the jacks that you disconnect them from.
- Disconnect the two phone jack connectors and remove from the cabinet.



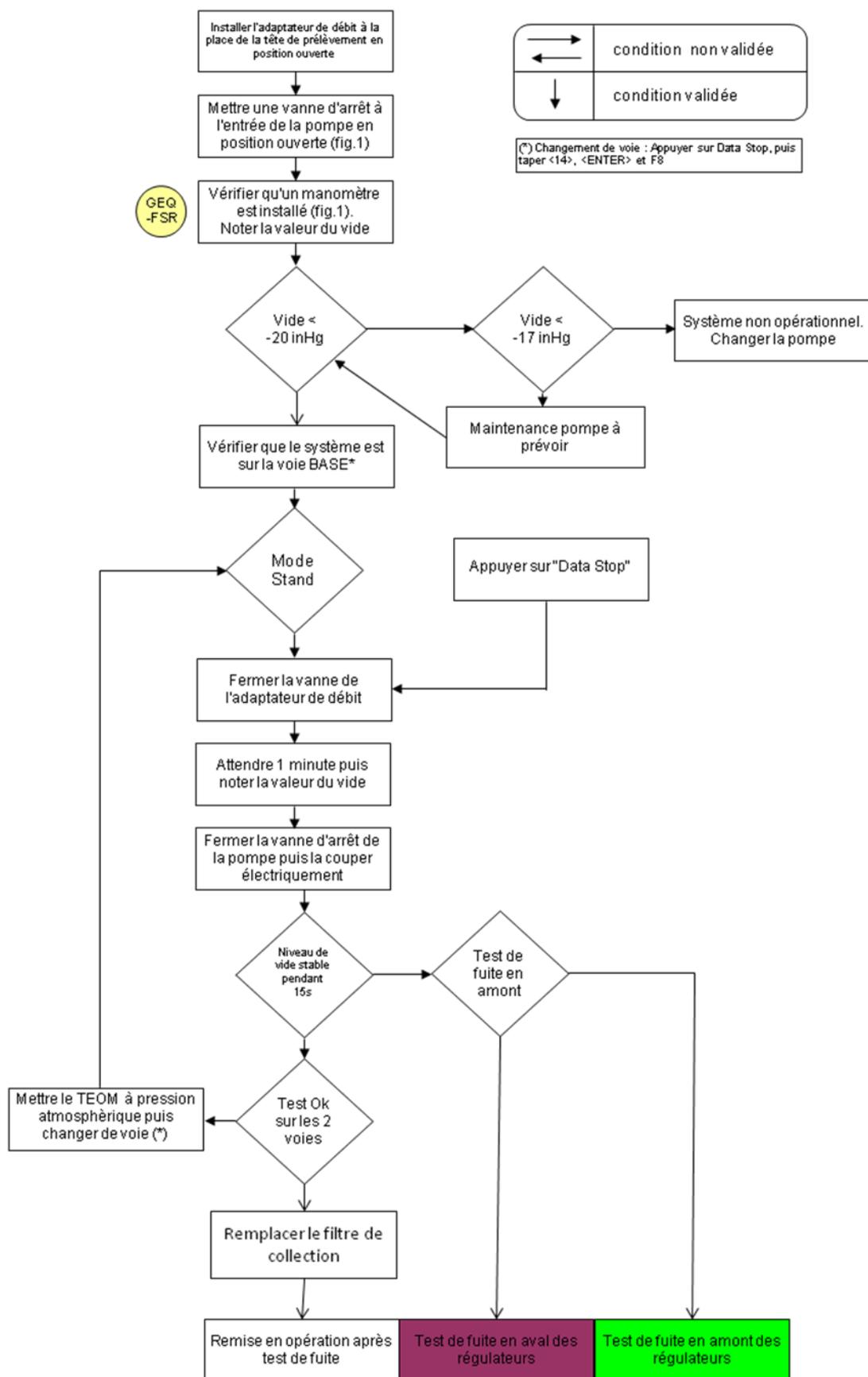
5 *Proprietary & Confidential*

ThermoFisher
SCIENTIFIC

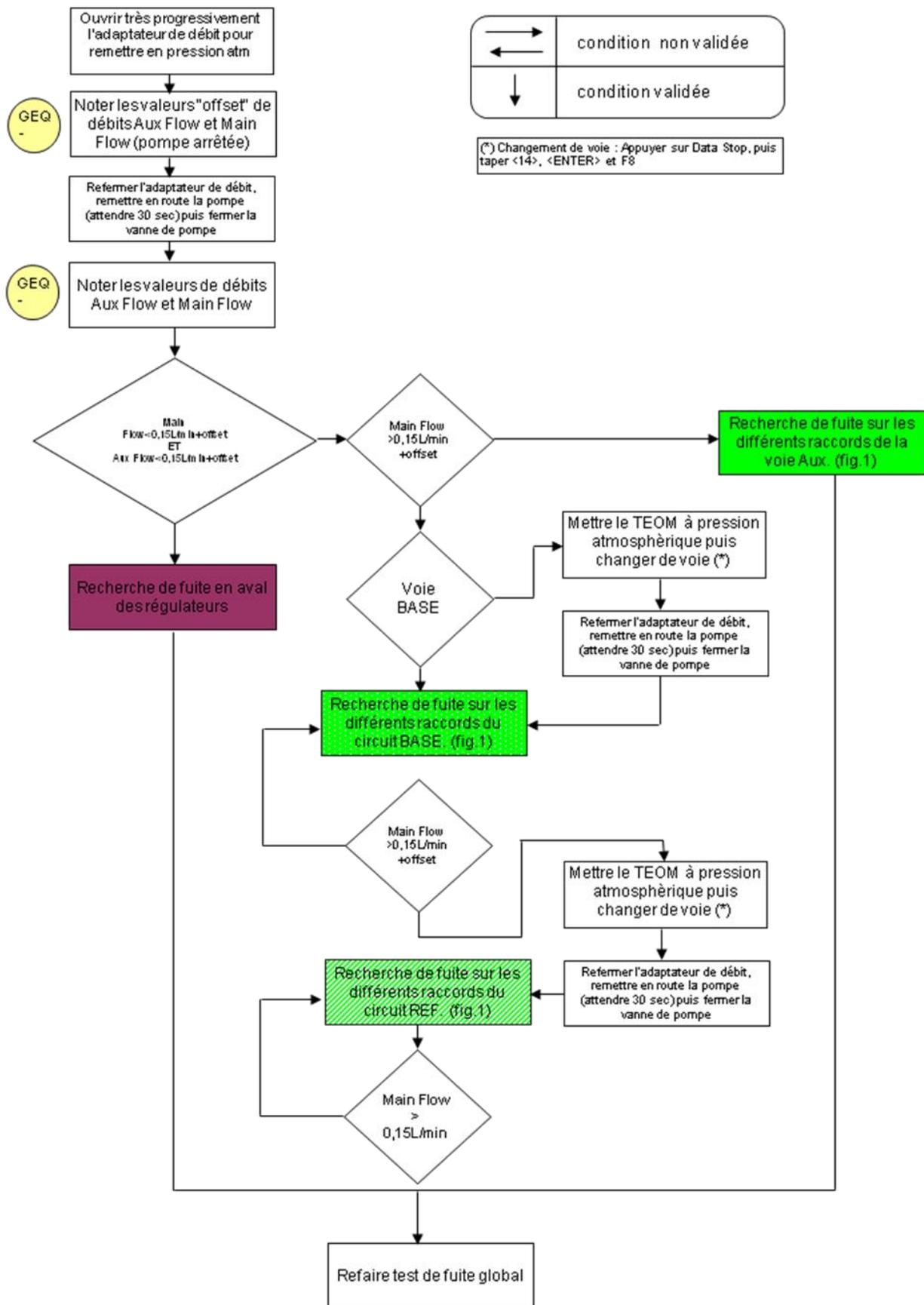
ANNEXE 2

Logigrammes Air Breizh pour la réalisation des tests de fuite

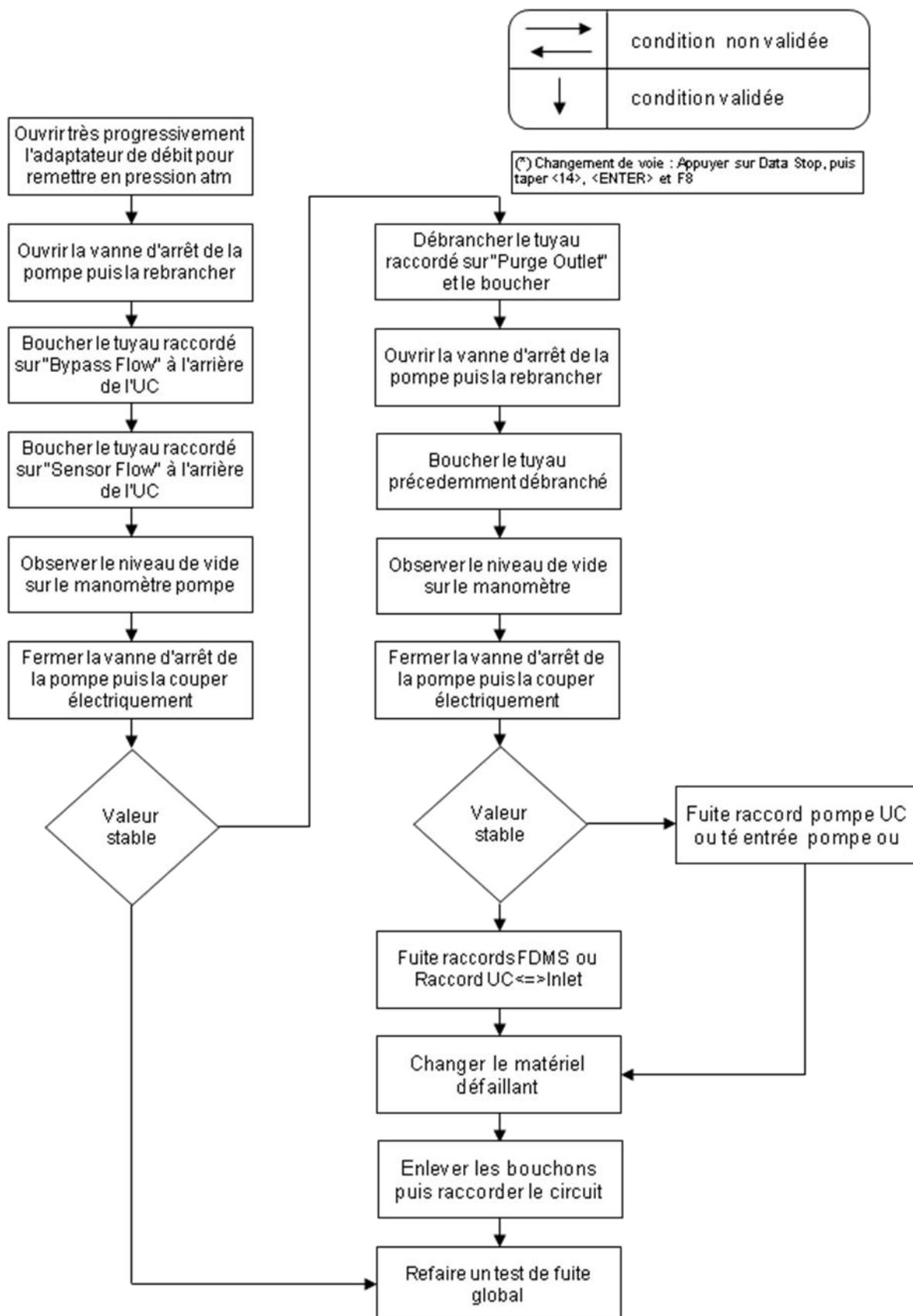
Tests de fuite (logigrammes Air Breizh)



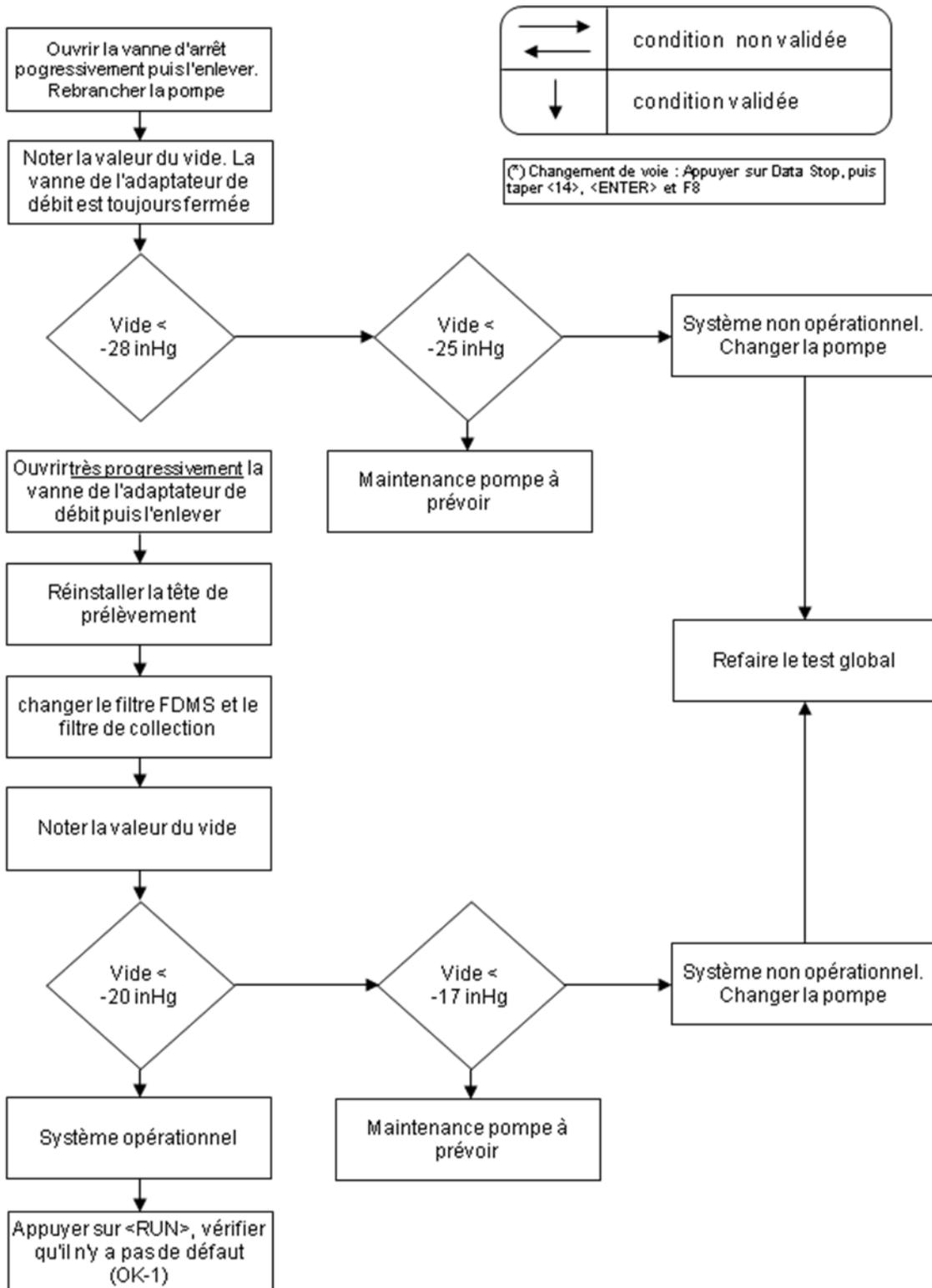
Test de fuite en amont des régulateurs de débit



Test de fuite en aval des régulateurs de débit



Remise en operation apres test de fuite



Annexe 3

**Proposition *Ecomesure* d'une procédure de test de fuite sous dépression
légère**

Test de fuite du circuit principal « main flow » sur TEOM 1400AB/FDMS 8500C

Principe :

Le test de fuite du débit principal « main flow » préconisé dans les manuels Thermo et Ecomesure consiste à mettre l'intégralité du système sous un vide poussé de l'ordre de 100 mbar absolu (900 mbar de dépression par rapport à l'atmosphère. Ceci consiste à exercer une force de 0.9 Kilo/cm² sur la majeure partie des composants du système et notamment sur les joints.

Bien que le système soit prévu pour résister à ces forces, l'application d'une telle pression peut masquer certaines fuites et causer certains problèmes:

- Un joint à lèvres usé ou déformé peut être aspiré et boucher une fuite existante (joint de balance TEOM, joint de vanne FDMS,..)
- Un raccord rapide mal enfoncé peut devenir momentanément étanche sous vide
- Un joint torique ayant perdu son élasticité peut redevenir étanche si les brides qui le compriment sont mises sous vide (joint interne de balance TEOM, raccord rapide)
- Le filtre TEOM et également le filtre FDMS, s'ils n'ont pas été retirés, peuvent être endommagés
- Si la vanne FDMS bascule alors que le système est sous vide, les joints de vanne peuvent être endommagés

Pour ces raisons une nouvelle méthode de test de fuite est proposée, qui ne soumet le système qu'à une dépression de l'ordre de 50 mbar.

Le principe consiste à mesurer le débit principal « main flow » qui par défaut est fixé à 3.00 l/mn en conditions normales d'utilisation. En condition normales d'utilisation, tous les composants du système en amont de la microbalance TEOM sont pratiquement à la pression atmosphérique (flow splitter, sécheur Nafion, vanne FDMS, joint en V de microbalance, joints toriques du système de détection d'oscillation).

Les éléments situés entre l'élément oscillant TEOM et les vannes de régulation sont soumis à une dépression variable dépendant de la charge du filtre TEOM (raccord de sortie de microbalance, tube noir de liaison, filtre de protection, débitmètre, etc.)

Les éléments situés en aval des vannes de régulation sont soumis à la pression de fonctionnement de la pompe qui ne varie pas au cours du test.

Pour mettre en évidence la présence d'une fuite, la procédure consiste à dépressuriser l'intérieur du système. Cette dépressurisation est contrôlée et est de l'ordre de 5% de la dépressurisation du protocole classique. Ceci permet de limiter les forces qui vont s'exercer sur les différents composants.

En absence de dépressurisation, une fuite mineure entre l'intérieur du système et l'extérieur aura un effet limité car la différence de pression n'est pas suffisante pour créer un débit important. La dépressurisation contrôlée de l'intérieur du système aura comme effet d'augmenter le débit de fuite. Comme le système TEOM régule les débits d'aspiration à une valeur constante, le débit aspiré en entrée du système va être diminué de la valeur du débit de fuite.

Remarque

Cette technique est limitée aux composants qui se situent en amont des régulateurs de débit.

Les composants en aval sont à pression constante et ne sont pas testés (connecteurs en face arrière de l'unité de contrôle, raccords « purge in », « purge out »). Une fuite sur ces composants sera détectée soit par un vide de pompe trop élevé, soit par un point de rosée échantillon anormal.

La procédure va donc consister à mesurer la variation du débit d'entrée du circuit principal quand le système est dépressurisé. La variation du débit mesurée en entrée correspond au débit de la fuite.

Procédure :

Si le test est effectué en amont du flow splitter :

Retirer la tête PM-10

Retirer le tube vert connecté sur le raccord « bypass » du flow splitter et obturer le raccord du flow splitter au moyen d'un bouchon Swagelock 3/8".

Installer un adaptateur de débit sur le flow splitter vanne ouverte.

Connecter un débitmètre électronique sur l'adaptateur de débit.

Le débitmètre doit avoir une résolution de 0.01 l/mn et doit être très stable. Les débitmètres à piston ne sont pas recommandés pour cet essai car leur fonctionnement est cyclique et leur perte de charge est variable à débit constant.

Noter la valeur du débit d'aspiration lue par le débitmètre électronique avec une résolution de 0.01 l/mn

Observer la perte de charge (filter load) en pourcent sur l'écran du TEOM.

Fermer lentement la vanne du flow splitter jusqu'à obtenir une indication de perte de charge augmentée de 10% en absolu (par exemple si la valeur de perte de charge initiale est de 32%, fermer la vanne jusqu'à obtenir une indication de 42%

Observer la valeur de débit :

Si la valeur a varié de moins de 0.05 l/mn, le système est étanche

Si la valeur a varié de plus de 0.05 l/m, il convient d'entreprendre une procédure de recherche de fuite.

Procédure alternative pour les installations où le flow splitter est éloigné de l'électronique du TEOM

Il peut s'avérer difficile de régler la vanne de dépressurisation et d'observer simultanément l'écran du TEOM. Dans ce cas suivre la procédure suivante :

Désengager le tube vert (ligne de bypass) reliant le flow splitter à l'électronique du TEOM au niveau du filtre de protection à l'arrière de l'électronique du TEOM

Retirer la tête PM-10

Installer sur le flow splitter un adaptateur de débit avec la vanne fermée

Installer une vanne de dépressurisation (consulter Ecomesure sur le choix de la vanne) sur le tube vert, côté filtre.

De l'autre côté de la vanne installer le débitmètre électronique de contrôle.

Le débitmètre doit avoir une résolution de 0.01 l/mn et doit être très stable. Les débitmètres à piston ne sont pas recommandés pour cet essai car leur fonctionnement est cyclique et leur perte de charge est variable à débit constant.

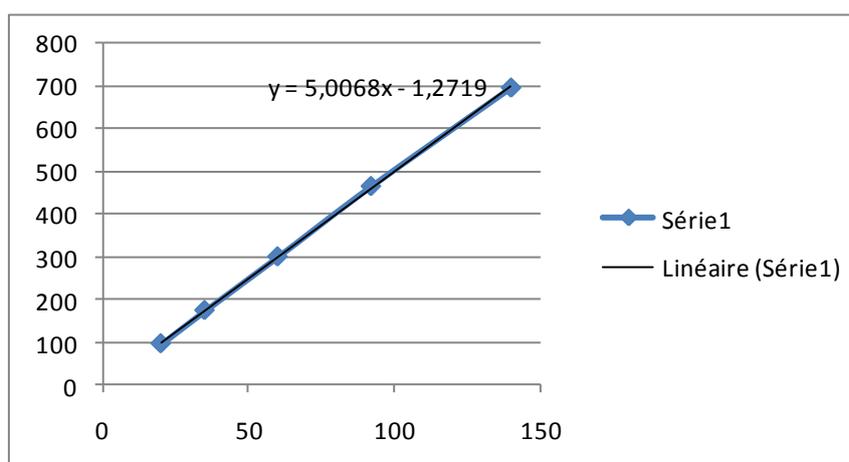
Noter la valeur du débit d'aspiration lue par le débitmètre électronique avec une résolution de 0.01 l/mn

Observer la perte de charge (filter load) en pourcent sur l'écran du TEOM.

Fermer lentement la vanne jusqu'à obtenir une indication de perte de charge augmentée de 10% en absolu (par exemple si la valeur de perte de charge initiale est de 32%, fermer la vanne jusqu'à obtenir une indication de 42%

Observer la valeur de débit :

Si la valeur a varié de moins de 0.05 l/mn, le système est étanche. Si la valeur a varié de plus de 0.05 l/m, il convient d'entreprendre une procédure de recherche de fuite.



Dépressurisation en mbar en fonction du pourcentage de colmatage lu par le TEOM.

Annexe 4

**Mode opératoire *Ecomesure* pour la maintenance de la vanne à translation
du module FDMS**

Montage de la Vanne FDMS

La vanne du module FDMS doit être démontée dans les cas suivants :

- détection d'une fuite sur la vanne
Dans ce cas, la vanne doit être démontée pour inspection et éventuellement changement des joints à lèvres internes
- défaillance et changement du moteur de pompe

Le remontage de la vanne FDMS doit être effectué en suivant les recommandations de cette notice. Si la vanne n'est pas correctement remontée, la durée de vie des joints à lèvres de vanne sera fortement réduite. Cette notice décrit les opérations de graissage de certains composants et l'alignement de l'armature de vanne lors du remontage. En fin de remontage il est impératif de vérifier que le noyau mobile central de la vanne coulisse sans jeu dans les armatures.

Présentation de la vanne :



(Figure1)

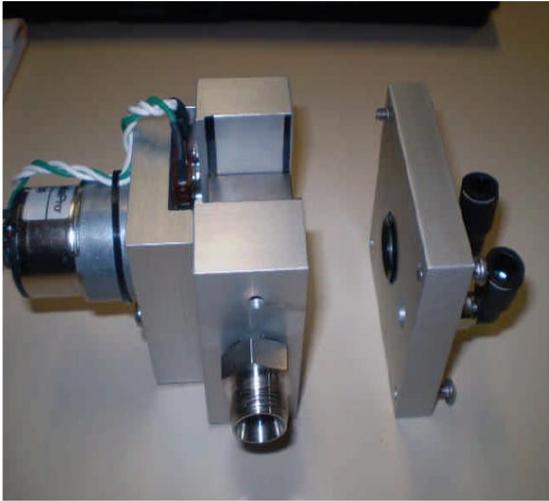
La vanne se présente en six éléments (figure 1) :

- un moteur,
- le compartiment moteur,
- trois supports qui entourent l'élément central coulissant,
- l'élément central coulissant,
- le petit cylindre qui se trouve dans la partie ventrale de l'élément central.

Six vis sont présentes pour maintenir l'ensemble.

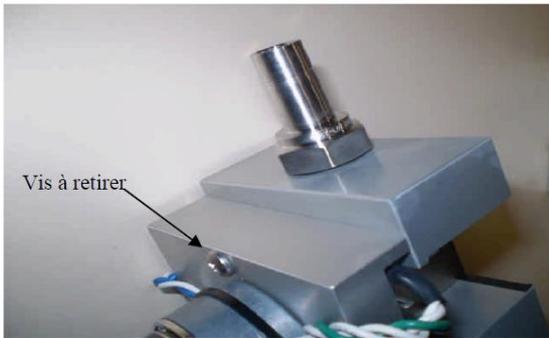
1. Démontage et entretien de la vanne :

1.1 Tout d'abord dévisser les 4 vis du support qui se situe en face du moteur (figure 2).



(figure 2)

1.2 Retirer le support qui se visse à l'assécheur du FDMS en enlevant la vis qui se trouve sur le compartiment moteur (cf. figure 3).

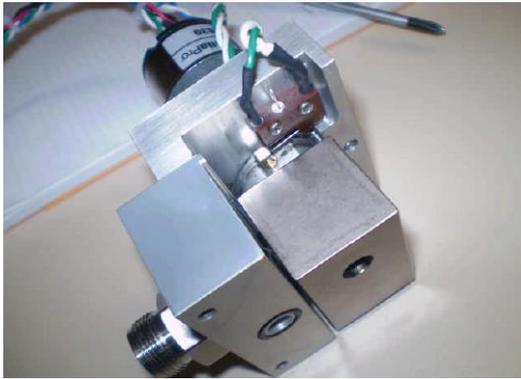


(figure3)

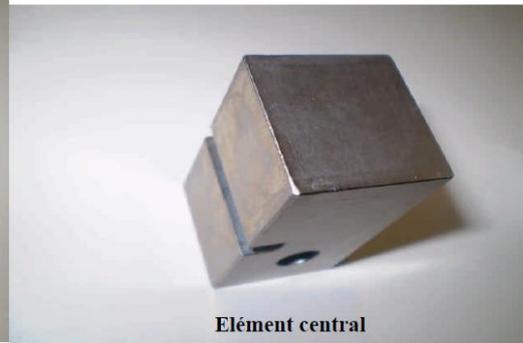


Nettoyer l'intérieur de la partie désassemblée à l'aide d'un chiffon propre. Vérifier l'état du joint à lèvres et le changer s'il est pincé ou déchiré. Vérifier l'état des bandelettes de glissement en teflon et les remplacer si elles présentent des signes d'arrachement. Graisser délicatement les bandelettes et le joint à lèvres avec de la graisse silicone. Il suffit d'appliquer un léger film de graisse. Il ne doit apparaître aucun dépôt de graisse sur les parties métalliques de la vanne.

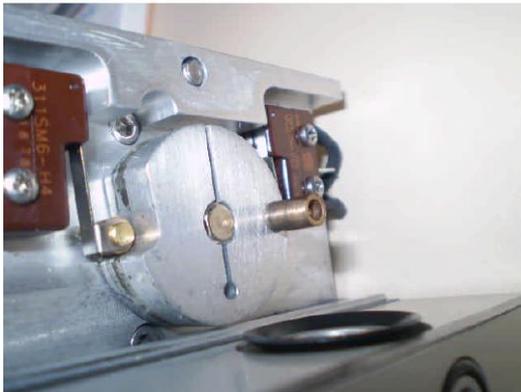
1.3 Enlever l'élément central (figure 4)



(figure 4)



Attention à ne pas perdre le petit cylindre situé dans la partie ventrale de l'élément central (cf. figure 5).



(figure 5)



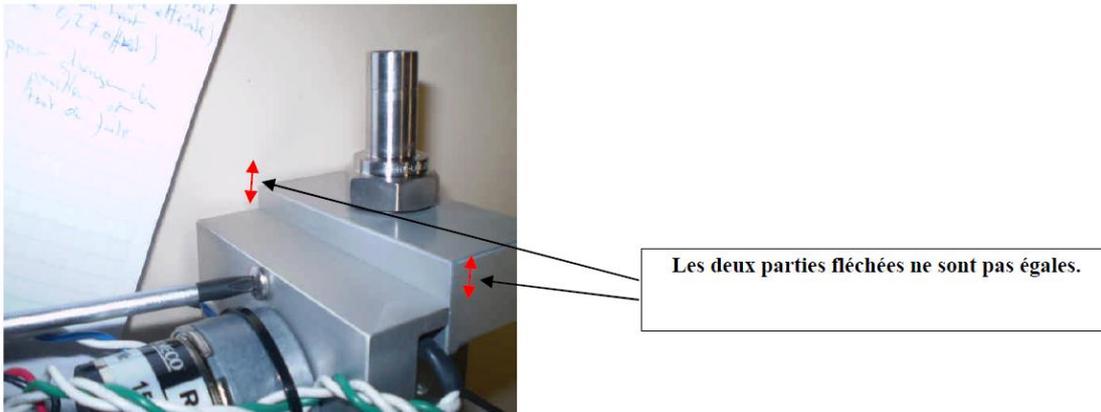
1.4 Effectuer sur le support qui vient se visser au TEOM les mêmes opérations que celles décrites dans la partie 1.2. Ne pas oublier de graisser les bandelettes et le joint à lèvres.

2. Montage de la vanne :

2.1 Remonter l'ensemble en n'oubliant pas de remettre le petit cylindre lors de l'ajout de l'élément central. Bien mettre l'élément central dans le cylindre dans sa partie ventrale. Attention à ne pas plier le joint à lèvres lors de l'ajout de l'élément central sur le support. Les deux trous de l'élément central doivent être situés côté support qui se visse à l'assécheur du FDMS.

2.2. Revisser le support qui se visse à l'assécheur du FDMS et s'assurant que les deux supports latéraux et le compartiment moteur soient bien alignés. Les deux parties fléchées doivent être égales (figure 6). Nous conseillons d'utiliser une règle pour vérifier l'alignement.

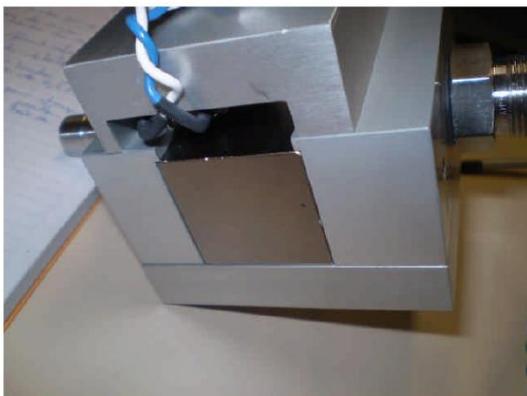
- Exemple de vanne mal montée :



(figure 6)

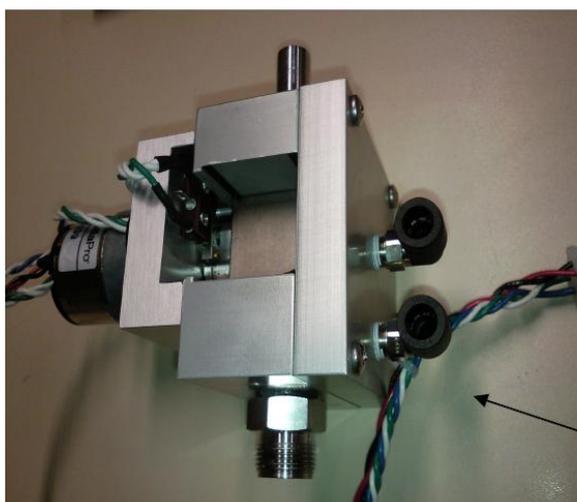
2.3. Revisser le support à l'aide des 4 vis sans trop serrer l'ensemble pour pouvoir réajuster l'alignement si besoin. Vérifier à nouveau que les deux supports latéraux soient bien alignés avec le compartiment moteur (figure 7). Si c'est le cas serrer fortement l'ensemble.

2.4. Pour réajuster l'alignement il y a possibilité de dévisser légèrement les 3 vis d'un côté sans dévisser l'autre côté. Ajuster et serrer. Faire la même chose de l'autre côté. Recommencer l'opération si besoin jusqu'à avoir un alignement de chaque côté optimal. Une fois l'ensemble monté s'assurer que les vis soient bien toutes serrées. Vérifier qu'il n'y a pas de jeu de l'élément central contre les supports (figure 8). Cette vérification doit être effectuée des deux côtés de la vanne visuellement et également en poussant sur l'élément central coulissant dans l'axe des joints. L'élément central ne doit pas bouger. Si un jeu est présent recommencer l'étape du réajustement décrit plus haut.



(figure 8)

2.5. Vérifier pour finir que la vanne n'a pas été remontée à l'envers (figure9).



Configuration de vanne montée à l'endroit.

(figure 9)