



# Conseil économique et social

Distr. générale  
19 juillet 2010  
Français  
Original: Anglais et français

---

## Commission économique pour l'Europe

Comité des transports intérieurs

### Forum mondial de l'harmonisation des Règlements concernant les véhicules

Cent-cinquante-deuxième session

Genève, 9–12 novembre 2010

Point 4.5.1 de l'ordre du jour provisoire

Accord de 1958 – Considération des projets

d'amendements aux Règlements existants proposés par le GRPE

### **Proposition de complément 4 à la série 05 d'amendements au Règlement n° 49 (Émissions des moteurs à allumage par compression et à allumage commandé fonctionnant au gaz utilisés pour la propulsion des véhicules)**

#### **Communication du Groupe de travail de la pollution et de l'énergie\***

Le texte reproduit ci-après a été adopté par le groupe de travail de la pollution et de l'énergie (GRPE) à sa soixantième session en vue d'introduire des dispositions concernant les procédures de mesure du nombre de particules dans le Règlement n° 49. Il a été établi sur la base du document ECE/TRANS/WP.29/GRPE/2010/7, tel que modifié dans l'annexe V du rapport (ECE/TRANS/WP.29/GRPE/60, par. 17). Il est transmis pour examen au Forum mondial de l'harmonisation des Règlements concernant les véhicules (WP.29) et au Comité Administratif (AC.1).

---

\* Conformément au programme de travail pour 2006-2010 du Comité des transports intérieurs (ECE/TRANS/166/Add.1, activité 02.4), le Forum mondial élabore, harmonise et actualise les Règlements, afin d'améliorer les caractéristiques fonctionnelles des véhicules. Le présent document est soumis en vertu de ce mandat.

*Table des matières, modifier comme suit:*

«...»

Annexe 4 C – Procédure d’essai de mesure du nombre de particules

Appendice 1 – Équipement de mesure des émissions en nombre de particules

Annexe 5 – ...»

*Ajouter une nouvelle annexe 4 C, ainsi conçue:*

*Texte du Règlement,*

## «Annexe 4 C

### Procédure d’essai de mesure du nombre de particules

1. Applicabilité

La présente annexe n’est pas applicable aux fins de l’homologation de type en vertu du présent Règlement au stade actuel. Il est prévu de la rendre applicable ultérieurement.
2. Introduction
- 2.1 La présente annexe décrit la méthode de détermination des émissions en nombre de particules des moteurs soumis à l’essai conformément aux procédures d’essai décrites à l’annexe 4B. Sauf autres mentions, les conditions d’essai, procédures et prescriptions sont identiques à celles énoncées dans l’annexe 4B.
3. Prélèvement
- 3.1 Émissions en nombre de particules

Les émissions en nombre de particules doivent être mesurées par prélèvement continu soit à partir d’un système de dilution du flux partiel tel que décrit aux paragraphes A.3.2.1 et A.3.2.2 de l’appendice 3 de l’annexe 4B, ou d’un système de dilution du flux total tel que décrit aux paragraphes A.3.2.3 et A.3.2.4 de l’appendice 3 de l’annexe 4B.
- 3.2 Filtrage du gaz de dilution

Le gaz de dilution utilisé pour l’opération de dilution primaire et le cas échéant celle de dilution secondaire des gaz d’échappement dans le système de dilution doivent être filtrés dans des filtres satisfaisant aux prescriptions s’appliquant aux filtres à particules à très haute efficacité (TEH), tels qu’ils sont définis dans les sous-paragraphes relatives aux filtres à air de dilution (DAF) des paragraphes A.3.2.2 ou A.3.2.4 de l’appendice 3 de l’annexe 4B. À titre optionnel, le gaz de dilution peut être lavé dans un laveur à charbon actif avant d’être envoyé dans le filtre TEH, afin de réduire et de stabiliser les concentrations d’hydrocarbures dans le gaz diluant. Il est recommandé d’utiliser un séparateur pour grosses particules additionnel placé en amont du filtre TEH et en aval du laveur à charbon actif, si celui-ci est utilisé.
4. Fonctionnement du système de prélèvement
- 4.1 Correction pour le débit massique de prélèvement de mesure du nombre de particules – système de dilution du flux total

- 4.1.1 Pour compenser le débit massique extrait du système de dilution pour le prélèvement de mesure du nombre de particules, le débit massique extrait (filtré) doit être réinjecté dans le système de dilution. Une autre solution possible est de corriger mathématiquement le débit massique total dans le système de dilution en fonction du débit de prélèvement extrait. Si le débit massique total extrait du système de dilution est inférieur à 0,5 % du débit total de gaz d'échappement dilués dans le tunnel de dilution (MED), cette correction, ou la réinjection du débit prélevé ne sont pas nécessaires.
- 4.2 Correction du débit pour tenir compte du débit de prélèvement de mesure du nombre de particules – systèmes de dilution du flux partiel
- 4.2.1 Pour les systèmes de dilution du flux partiel, le débit massique extrait du système de dilution pour la mesure du nombre de particules doit être pris en compte dans le système de réglage de la proportionnalité du prélèvement. Cette condition peut être réalisée soit par réinjection du débit de prélèvement dans le système de dilution en amont du dispositif de mesure du débit, soit par correction mathématique comme décrit au paragraphe 4.2.2. Dans le cas des systèmes de dilution du flux partiel du type à prélèvement total, le débit massique extrait pour le prélèvement de mesure des particules doit aussi être pris en compte dans le calcul de la masse de particules comme indiqué au paragraphe 4.2.3.
- 4.2.2 La correction pour tenir compte du débit instantané de gaz d'échappement entrant dans le système de dilution ( $q_{mp}$ ), utilisé pour le contrôle de la proportionnalité du prélèvement, doit se faire selon l'une des deux méthodes suivantes:

- a) Dans le cas où le débit de prélèvement extrait n'est pas réinjecté dans le circuit, l'équation (83) du paragraphe 9.4.6.2 de l'annexe 4B doit être remplacée par la suivante:

$$q_{mp} = q_{mdew} - q_{mdw} + q_{ex}$$

où:

$q_{mp}$  = débit de prélèvement des gaz d'échappement entrant dans le système de dilution du flux partiel, kg/s

$q_{mdew}$  = débit massique de gaz d'échappement dilués, kg/s

$q_{mdw}$  = débit massique d'air de dilution, kg/s

$q_{ex}$  = débit massique de prélèvement de mesure du nombre de particules, kg/s

Le signal  $q_{ex}$  envoyé au régulateur du système de flux partiel doit être juste à 0,1 % de la valeur de  $q_{mdew}$  à tout moment et il doit être émis avec une fréquence d'au moins 1 Hz.

- b) Dans le cas où le débit de prélèvement extrait n'est pas réinjecté, même partiellement, mais où un débit équivalent est injecté dans le système de dilution en amont du dispositif de mesure du débit, l'équation (83) du paragraphe 9.4.6.2 de l'annexe 4B doit être remplacée par la suivante:

$$q_{mp} = q_{mdew} - q_{mdw} + q_{ex} - q_{sw}$$

où:

$q_{mp}$  = débit de prélèvement des gaz d'échappement entrant dans le système de dilution du flux partiel, kg/s

$q_{mdew}$  = débit massique de gaz d'échappement dilués, kg/s

$q_{mdw}$  = débit massique d'air de dilution, kg/s

$q_{ex}$  = débit massique de prélèvement de mesure du nombre de particules, kg/s

$q_{sw}$  = débit massique réintroduit dans le tunnel de dilution pour compenser le débit de prélèvement extrait, kg/s

Le signal de différence entre  $q_{ex}$  et  $q_{sw}$  envoyé au régulateur du système de flux partiel doit être juste à 0,1 % près de la valeur de  $q_{mdew}$  à tout moment. Le ou les signaux doivent être émis à une fréquence d'au moins 1 Hz.

#### 4.2.3 Correction s'appliquant à la mesure de la masse des particules

Lorsqu'un débit de prélèvement de mesure du nombre de particules est extrait à partir d'un système de dilution du flux partiel à prélèvement total, la masse de particules ( $m_{PM}$ ) calculée selon le paragraphe 8.4.3.2.1 ou 8.4.3.2.2 de l'annexe 4B doit être corrigée comme suit pour tenir compte du débit extrait. Cette correction est nécessaire même lorsque le débit extrait filtré est réinjecté dans le système de dilution du flux partiel.

$$m_{PM,corr} = m_{PM} \times \frac{m_{sed}}{(m_{sed} - m_{ex})}$$

où:

$m_{PM,corr}$  = masse de particules corrigée pour tenir compte du débit de prélèvement extrait, g/essai,

$m_{PM}$  = masse de particules déterminée selon le paragraphe 8.4.3.2.1 ou 8.4.3.2.2 de l'annexe 4B, g/essai,

$m_{sed}$  = masse totale de gaz d'échappement dilués passant par le tunnel de dilution, kg,

$m_{ex}$  = masse totale de gaz d'échappement dilués extraits du tunnel de dilution pour le prélèvement de mesure du nombre de particules, kg.

#### 4.3 Proportionnalité du prélèvement dans le système de dilution du flux partiel.

##### 4.3.1 Pour la mesure du nombre de particules, le débit massique de gaz d'échappement, déterminé selon l'une des méthodes décrites aux paragraphes 8.4.1.3 à 8.4.1.7 de l'annexe 4B, est utilisé pour le réglage du système de dilution du flux partiel de manière à prélever un échantillon proportionnel au débit massique de gaz d'échappement. La proportionnalité doit être contrôlée par application d'une analyse de régression entre le débit de prélèvement et le débit de gaz d'échappement conformément au paragraphe 9.4.6.1 de l'annexe 4B.

#### 5. Détermination du nombre de particules

##### 5.1 Alignement dans le temps

Pour les systèmes de dilution du flux partiel, il doit être tenu compte du temps de séjour dans le système de prélèvement et de mesure du nombre de particules par alignement dans le temps du signal du nombre de particules avec le cycle d'essai et le débit massique de gaz d'échappement conformément aux procédures définies aux paragraphes 3.1.30 et 8.4.2.2 de l'annexe 4B. Le temps de transformation du système de prélèvement et de mesure du nombre de particules doit être déterminé conformément au paragraphe 1.3.6 de l'appendice 1 de la présente annexe.

5.2 Détermination du nombre de particules dans un système de dilution du flux partiel

5.2.1 Lorsque le prélèvement de mesure du nombre de particules s'effectue dans un système de dilution du flux partiel conformément aux procédures décrites au paragraphe 8.4 de l'annexe 4B, le nombre de particules émises sur le cycle d'essai entier doit être calculé au moyen de l'équation suivante:

$$N = \frac{m_{edf}}{1,293} \cdot k \cdot \bar{c}_s \cdot \bar{f}_r \cdot 10^6$$

où:

$N$  = nombre de particules émises sur le cycle d'essai entier,

$m_{edf}$  = masse de gaz d'échappement dilués équivalents sur le cycle d'essai entier, déterminée conformément au paragraphe 8.4.3.2.2 de l'annexe 4B, kg/essai,

$k$  = facteur d'étalonnage permettant de corriger les mesures indiquées par le compteur du nombre de particules en fonction de l'instrument de référence, lorsque cette correction n'est pas appliquée de manière interne au compteur. Lorsque le facteur d'étalonnage est appliqué de manière interne au compteur, une valeur de 1 doit être appliquée à  $k$  dans l'équation ci-dessus,

$\bar{c}_s$  = concentration moyenne de particules dans les gaz d'échappement dilués, corrigée aux conditions normales (273,5 K et 101,33 kPa), particules par  $\text{cm}^3$ ,

$\bar{f}_r$  = facteur de réduction de la concentration moyenne de particules de l'extracteur de particules volatiles s'appliquant spécifiquement aux conditions de dilution utilisée pour l'essai.

$\bar{c}_s$  doit être calculé au moyen de l'équation suivante:

$$\bar{c}_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n}$$

où:

$c_{s,i}$  = mesure discrète de la concentration de particules dans les gaz d'échappement dilués indiquée par le compteur de particules, corrigée pour la coïncidence et ramenée aux conditions normales (273,2 K et 101,33 kPa), particules par  $\text{cm}^3$ .

$n$  = nombre de mesures de la concentration de particules effectuées sur le cycle d'essai entier.

5.3 Détermination du nombre de particules dans un système de dilution du flux total.

5.3.1 Lorsque le prélèvement de mesure du nombre de particules s'effectue dans un système de dilution du flux total conformément aux procédures décrites au paragraphe 8.5 de l'annexe 4B, le nombre de particules émises sur le cycle d'essai entier doit être calculé au moyen de l'équation suivante:

$$N = \frac{m_{ed}}{1,293} \cdot k \cdot \bar{c}_s \cdot \bar{f}_r \cdot 10^6$$

où:

$N$  = nombre de particules émises sur le cycle d'essai entier,

$m_{ed}$  = débit total de gaz d'échappement dilués sur le cycle d'essai entier calculé selon l'une des méthodes décrites aux paragraphes 8.5.1.2 à 8.5.1.4 de l'annexe 4B, kg/essai,

$k$  = d'étalonnage permettant de corriger les mesures indiquées par le compteur du nombre de particules en fonction de l'instrument de référence, lorsque cet alignement n'est pas effectué en interne dans le compteur. Lorsque le facteur d'étalonnage est appliqué en interne, une valeur de 1 doit être utilisée pour  $k$  dans l'équation ci-dessus,

$\bar{c}_s$  = concentration corrigée moyenne de particules provenant des gaz d'échappement dilués, corrigée en fonction des conditions normales (273,2 K et 101,33 kPa), particules par  $\text{cm}^3$ ,

$\bar{f}_r$  = facteur de réduction de la concentration moyenne de particules du séparateur de particules volatiles, s'appliquant spécifiquement aux conditions de dilution utilisée pour l'essai. doit être calculé au moyen de l'équation suivante,

$\bar{c}_s$  doit être calculé au moyen de l'équation suivante:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n}$$

où:

$c_{s,i}$  = mesure discrète de la concentration de particules dans les gaz d'échappement dilués indiquée par le compteur de particules, corrigée pour la coïncidence et ramenée aux conditions normales (273,2 K et 101,33 kPa), particules par  $\text{cm}^3$ .

$n$  = nombre de mesures de la concentration de particules effectuées sur le cycle d'essai entier.

5.4 Résultat d'essai

- 5.4.1 Pour chaque essai WHSC, essai WHTC à chaud et essai WHTC à froid individuel, les émissions spécifiques en nombre de particules/kWh doivent être calculées comme suit:

$$e = \frac{N}{W_{act}}$$

où:

$e$  = nombre de particules émises par kWh,

$W_{act}$  = travail effectif sur le cycle conformément au paragraphe 7.8.6 de l'annexe 4B, en kWh.

- 5.4.2 Systèmes de traitement aval à régénération périodique

Pour les moteurs équipés de systèmes de traitement aval à régénération périodique, les émissions lors de l'essai WHTC avec démarrage à chaud devraient être pondérées comme suit:

$$e_w = \frac{n \times \bar{e} + n_r \times \bar{e}_r}{n + n_r}$$

où:

$e_w$  = émissions spécifiques moyennes pondérées lors de l'essai WHTC de démarrage à chaud, nombre de particules/kWh,

$n$  = nombre d'essais WHTC de démarrage à chaud sans régénération,

$n_r$  = nombre d'essais WHTC de démarrage à chaud avec régénération (minimum un essai);

$\bar{e}$  = émissions spécifiques moyennes sans régénération, nombre de particules/kWh;

$\bar{e}_r$  = émissions spécifiques moyennes avec régénération, nombre de particules/kWh.

Dans la détermination de  $\bar{e}_r$ , les prescriptions ci-après s'appliquent:

- a) Si la régénération dure plus longtemps qu'un essai WHTC de démarrage à chaud, une série d'essais complets WHTC de démarrage à chaud doit être exécutée, pendant laquelle les émissions continuent d'être mesurées, sans phase de stabilisation à chaud et sans arrêt du moteur, jusqu'à ce que la régénération soit achevée, et la moyenne des essais WHTC de démarrage à chaud doit être calculée.
- b) Si la régénération est achevée au cours de l'un quelconque des essais WHTC de démarrage à chaud, l'essai doit être poursuivi pendant sa durée complète.

En accord avec l'autorité d'homologation de type, la correction pour régénération doit se faire soit par voie multiplicative soit par voie additive, sur la base des règles de bonne pratique technique.

Les facteurs de correction multiplicatifs  $k_r$  sont déterminés comme suit:

$$k_{r,u} = \frac{e_w}{e} \quad (\text{vers le haut})$$

$$k_{r,d} = \frac{e_w}{e_r} \quad (\text{vers le bas})$$

Les facteurs de correction additifs ( $k_r$ ) sont déterminés comme suit:

$$k_{r,u} = e_w - e \quad (\text{vers le haut})$$

$$k_{r,d} = e_w - e_r \quad (\text{vers le bas})$$

La correction pour régénération  $k_r$ :

- c) doit être appliquée aux résultats pondérés de l'essai WHTC conformément au paragraphe 5.4.3;
- d) peut être appliquée à l'essai WHSC et à l'essai WHTC à froid si une régénération se produit pendant le cycle;
- e) peut être étendue à d'autres membres de la même famille de moteurs;
- f) peut être étendue à d'autres familles de moteurs utilisant le même système de traitement aval, avec l'accord préalable de l'autorité d'homologation de type, donné sur la base de preuves techniques, fournies par le constructeur, selon lesquelles les émissions sont semblables.

#### 5.4.3 Résultat moyen pondéré de l'essai WHTC

Pour l'essai WHTC, le résultat final d'essai est une moyenne pondérée des essais de démarrage à froid et de démarrage à chaud (y compris la régénération périodique lorsqu'il y a lieu) calculée au moyen de l'une des équations suivantes:

- a) Dans le cas d'une correction multiplicative, ou de moteurs non munis d'un système de traitement aval à régénération périodique

$$e = k_r \left( \frac{(0,14 \times N_{cold}) + (0,86 \times N_{hot})}{(0,14 \times W_{act,cold}) + (0,86 \times W_{act,hot})} \right)$$

- b) Dans le cas d'une correction additive

$$e = k_r + \left( \frac{(0,14 \times N_{cold}) + (0,86 \times N_{hot})}{(0,14 \times W_{act,cold}) + (0,86 \times W_{act,hot})} \right)$$

où:

$N_{cold}$  = nombre total de particules émises sur le cycle d'essai WHTC à froid;

$N_{hot}$  = nombre total de particules émises sur le cycle d'essai WHTC à chaud;

$W_{act,cold}$  = travail effectif sur le cycle pendant la durée du cycle d'essai WHTC à froid conformément au paragraphe 7.8.6 de l'annexe 4B, en kWh;

- $W_{act, hot}$  = travail effectif sur le cycle au cours du cycle d'essai WHTC à chaud conformément au paragraphe 7.8.6 de l'annexe 4B, en kWh;
- $k_r$  = correction de régénération, conformément au paragraphe 5.4.2, ou dans le cas de moteurs non munis d'un système de traitement aval à régénération périodique.

#### 5.4.4 Arrondi des résultats finaux

Les résultats finaux d'essai WHSC et les résultats moyens pondérés d'essai WHTC doivent être arrondis en une seule étape à trois chiffres significatifs conformément à la norme ASTM E 29-06B. Aucun arrondi de valeurs intermédiaires aboutissant au résultat final d'émission spécifique au frein n'est autorisé.

#### 6. Détermination du nombre de particules de l'air ambiant

- 6.1 À la demande du fabricant du moteur, les concentrations ambiantes en nombre de particules dans le tunnel de dilution peuvent être mesurées, avant ou après l'essai, à partir d'un point situé en aval des filtres à particules et à hydrocarbures situés à l'entrée du système de mesure du nombre de particules, pour déterminer les concentrations ambiantes de particules dans le tunnel.
- 6.2 La déduction des concentrations ambiantes du nombre de particules dans le tunnel ne doit pas être admise pour l'homologation de type mais elle peut être utilisée, à la demande du fabricant, et avec l'accord préalable de l'autorité d'homologation de type, pour le contrôle de la conformité de la production, s'il peut être démontré que la contribution des valeurs ambiantes du tunnel n'est pas négligeable; celle-ci peut alors être déduite des valeurs mesurées dans les gaz d'échappement dilués.

## Annexe 4C

### Appendice 1

#### Appareillage de mesure du nombre de particules émises

1. Description
  - 1.1 Vue d'ensemble du système
    - 1.1.1 Le système de prélèvement des particules comprend une sonde ou un point de prélèvement permettant d'extraire un échantillon d'un flux mélangé de façon homogène circulant dans un système de dilution comme décrit aux paragraphes A.3.2.1 et A.3.2.2, ou A.3.2.3 et A.3.2.4 de l'appendice 3 de l'annexe 4B, d'un séparateur de particules volatiles (VPR) situé en amont d'un compteur du nombre de particules (PNC), et d'un tube de transfert approprié.
    - 1.1.2 Il est recommandé de placer, avant l'entrée du séparateur de particules volatiles, un séparateur primaire (type pot à poussières ou cyclone par exemple). Toutefois, on peut également utiliser une sonde de prélèvement fonctionnant comme un séparateur granulométrique primaire, comme montré à la figure 14. Dans le cas d'un système de dilution du flux partiel, il est autorisé d'utiliser le même séparateur primaire pour le prélèvement de mesure de la masse des particules et le prélèvement de mesure du nombre de particules, l'échantillon de mesure du nombre de particules étant extrait du système de dilution en aval du séparateur primaire. Une autre solution admise est d'utiliser des séparateurs primaires distincts, l'échantillon de mesure du nombre de particules étant extrait du système de dilution en amont du séparateur primaire de mesure de la masse de particules.
  - 1.2 Prescriptions générales
    - 1.2.1 Le point de prélèvement des particules doit être situé dans un système de dilution.

La sonde ou le point de prélèvement (PSP) et le tube de transfert des particules (PTT) forment ensemble le système de transfert des particules (PTS). Le PTS achemine l'échantillon prélevé dans le tunnel de dilution jusqu'à l'entrée du VPR. Le PTS doit remplir les conditions suivantes:

Dans le cas d'un système de dilution du flux total et d'un système de dilution du flux partiel du type à prélèvement partiel (comme décrit au paragraphe A.3.2.1 de l'appendice 3 de l'annexe 4B), la sonde de prélèvement doit être installée à proximité de l'axe médian du tunnel à une distance égale à 10 à 20 diamètres de tunnel en aval de l'entrée des gaz, orientée vers l'amont dans le flux de gaz du tunnel, l'axe de la sonde à son extrémité étant parallèle à celui du tunnel de dilution. La sonde doit être positionnée dans la veine de dilution de telle manière que l'échantillon soit prélevé dans un mélange homogène gaz de dilution/gaz d'échappement.

Dans le cas d'un système de dilution du flux partiel du type à prélèvement total (comme décrit au paragraphe A.3.2.1 de l'annexe 4B), le point ou la sonde de prélèvement des particules doit être situé dans le tube de transfert des particules, en amont du porte-filtre à particules, du dispositif de mesure

du débit et de tout point de bifurcation de prélèvement ou de contournement. Le point ou la sonde de prélèvement doivent être positionnés de telle manière que l'échantillon soit prélevé dans un mélange homogène gaz de dilution/gaz d'échappement. La sonde de prélèvement des particules doit être dimensionnée pour ne pas perturber le fonctionnement du système de dilution du flux partiel.

L'échantillon de gaz prélevé dans le PTS doit remplir les conditions suivantes:

Dans le cas de systèmes de dilution du flux total, son écoulement turbulent (nombre de Reynolds) doit être  $< 1\ 700$ ;

Dans le cas de systèmes de dilution du flux partiel, son écoulement turbulent (nombre de Reynolds) doit être  $< 1\ 700$  en aval de la sonde ou du point de prélèvement des particules;

Son temps de séjour dans le PTS doit être  $\leq 3$  s.

Toute autre configuration de prélèvement du PTS pour laquelle il peut être démontré que la pénétration des particules de 30 nm est équivalente est considérée comme satisfaisante.

Le tuyau de sortie (OT) acheminant l'échantillon dilué du VPR vers l'entrée du PNC doit avoir les caractéristiques suivantes:

Son diamètre interne doit être  $\geq 4$  mm;

Le temps de séjour de l'échantillon dans le tuyau de sortie OT du gaz prélevé doit être  $\leq 0,8$  s.

Toute autre configuration de prélèvement de l'OT pour laquelle il peut être démontré que la pénétration des particules de 30 nm est équivalente est considérée comme satisfaisante.

- 1.2.2 Le VPR doit comprendre des équipements pour la dilution de l'échantillon et pour la capture des particules volatiles.
- 1.2.3 Tous les éléments du système de dilution et du système de prélèvement compris entre le tuyau d'échappement et le PNC qui entrent en contact avec les gaz d'échappement bruts et dilués doivent être conçus pour réduire le plus possible les dépôts de particules. Ils doivent être réalisés en matériaux électriquement conducteurs qui ne réagissent pas avec les constituants des gaz d'échappement, et ils doivent être mis à la masse électriquement pour prévenir les effets électrostatiques.
- 1.2.4 Le système de prélèvement des particules doit satisfaire aux règles de bonne pratique en ce qui concerne les prélèvements d'aérosols, et notamment ne pas comporter de coudes prononcés ni de changements brusques de section transversale, comporter des surfaces internes lisses et avoir une tuyauterie de prélèvement la plus courte possible. Des variations progressives de la section transversale sont acceptables.
- 1.3 Prescriptions particulières
  - 1.3.1 L'échantillon de particules ne doit pas passer à travers une pompe avant de passer à travers le PNC.
  - 1.3.2 Il est recommandé d'utiliser un séparateur primaire.
  - 1.3.3 L'unité de préconditionnement de l'échantillon doit:

- 1.3.3.1 Être capable de diluer l'échantillon en une ou plusieurs étapes pour, d'une part, abaisser la concentration en nombre de particules au-dessous du seuil à partir duquel le PNC ne peut plus fonctionner en mode de comptage particule par particule et, d'autre part, faire descendre la température du gaz au-dessous de 35 °C à l'entrée du PNC;
- 1.3.3.2 Comprendre un étage initial de dilution chauffé à la sortie duquel la température de l'échantillon est  $\geq 150$  °C et  $\leq 400$  °C et l'échantillon est dilué d'un facteur 10 au minimum;
- 1.3.3.3 Maintenir les étages chauffés à leur température nominale de fonctionnement, dans la plage spécifiée au paragraphe 1.3.3.2, avec une tolérance de  $\pm 10$  °C. Fournir une indication permettant de savoir si les étages chauffés sont ou non à leur température correcte de fonctionnement.
- 1.3.3.4 Réaliser un facteur de réduction de la concentration des particules ( $f_r(d_i)$ ), tel qu'il est défini au paragraphe 2.2.2, pour des particules dont le diamètre de mobilité électrique est de 30 nm et 50 nm, qui ne soit pas supérieur de plus de 30 % et de plus de 20 % respectivement ni inférieur de plus de 5 % à celui obtenu pour des particules ayant un diamètre de mobilité électrique de 100 nm, pour l'ensemble du VPR.
- 1.3.3.5 Réaliser aussi une vaporisation  $> 99,0$  % de particules de tétracontane ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{38}\text{CH}_3$ ) de 30 nm, avec une concentration à l'entrée  $\geq 10\,000$  cm<sup>-3</sup>, par chauffage et réduction des pressions partielles du tétracontane.
- 1.3.4 Le PNC doit:
- 1.3.4.1 Fonctionner en conditions de plein débit;
- 1.3.4.2 Effectuer le comptage avec une justesse de  $\pm 10$  % dans la plage comprise entre 1 cm<sup>-3</sup> et le seuil à partir duquel le PNC ne fonctionne plus en mode comptage particule par particule selon une norme identifiable. À des concentrations inférieures à 100 cm<sup>-3</sup>, des mesures dont la moyenne est calculée sur des périodes de prélèvement de longue durée peuvent être exigées pour démontrer la précision du PNC avec un degré de fiabilité statistique élevé;
- 1.3.4.3 Avoir une résolution d'au moins 0,1 particules/cm<sup>-3</sup> à des concentrations inférieures à 100 cm<sup>-3</sup>;
- 1.3.4.4 Avoir une réponse linéaire aux concentrations de particules sur toute la plage de mesure en mode comptage particule par particule;
- 1.3.4.5 Avoir une fréquence de transmission des données égale ou supérieure à 0,5 Hz;
- 1.3.4.6 Avoir un temps de réponse  $t_{90}$  sur la plage de mesure des concentrations de moins de 5 s;
- 1.3.4.7 Comporter une fonction de correction de coïncidence jusqu'à une correction maximale de 10 % et pouvoir appliquer un facteur d'étalonnage interne comme indiqué au paragraphe 2.1.3 mais n'utiliser aucun autre algorithme de correction ou de définition en ce qui concerne l'efficacité du comptage;
- 1.3.4.8 Avoir une efficacité de comptage de 50 % ( $\pm 12$  %) pour les particules ayant un diamètre de mobilité électrique de 23 nm ( $\pm 1$  nm) et de plus de 90 % pour les particules ayant un diamètre de mobilité électrique de 41 nm ( $\pm 1$  nm). Ces efficacités de comptage peuvent être obtenues par des moyens internes

(par exemple conception appropriée des instruments) ou externes (par exemple utilisation d'un séparateur granulométrique primaire).

- 1.3.4.9 Si le PNC fonctionne avec un liquide, celui-ci doit être remplacé à la fréquence indiquée par le fabricant de l'instrument.
- 1.3.5 Si elles ne sont pas maintenues à une valeur constante connue au point où le débit du PNC est réglé, la pression et/ou la température à l'entrée du PNC doivent être mesurées et transmises aux fins de la correction des concentrations mesurées de particules pour les ramener aux conditions normales.
- 1.3.6 La somme du temps de séjour dans le PTS, le VPR et l'OT et du temps de réponse  $t_{90}$  du PNC ne doit pas dépasser 20 s.
- 1.3.7 Le temps de transformation du système entier de prélèvement pour la mesure du nombre de particules (PTS, VPR, OT et PNC) doit être déterminé par permutation sur un flux d'aérosol envoyé directement à l'entrée du PTS. La permutation sur le flux d'aérosol doit s'effectuer en moins de 0,1 s. L'aérosol utilisé pour l'essai doit causer une variation de concentration au moins égale à 60 % de l'amplitude maximale.

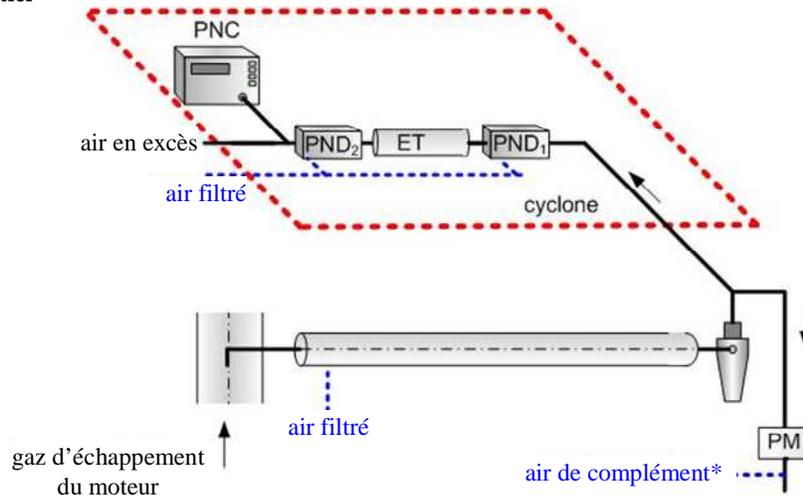
La trace de la concentration doit être enregistrée. Pour l'alignement dans le temps de la concentration du nombre de particules et des signaux de débit de gaz d'échappement, le temps de transformation est défini comme étant le temps écoulé à partir de l'instant de commutation  $t_0$  jusqu'à ce que la réponse ait atteint 50 % de la valeur de lecture finale ( $t_{50}$ ).

#### 1.4 Description du système de mesure recommandé

Le présent paragraphe décrit le système recommandé pour la mesure du nombre de particules. Toutefois, il est possible d'utiliser un autre système à condition qu'il satisfasse aux prescriptions fonctionnelles énoncées aux paragraphes 1.2 et 1.3.

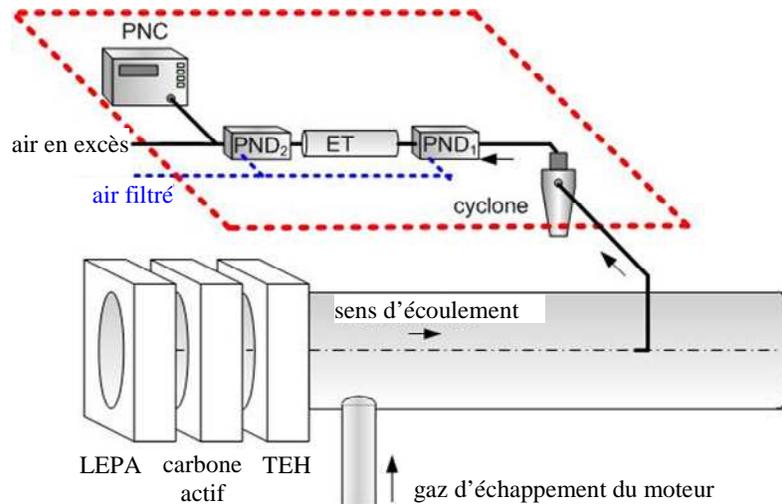
Les figures 14 et 15 représentent les schémas de principe des systèmes recommandés pour le prélèvement des particules dans le cas du prélèvement du flux partiel et du prélèvement du flux total respectivement.

Figure 14  
Schéma du système recommandé de prélèvement des particules – prélèvement du flux partiel



\*Une autre solution admise est d'introduire une correction pour le débit extrait pour la mesure du nombre de particules au niveau du logiciel de commande

Figure 15  
Schéma du système recommandé de prélèvement des particules – prélèvement du flux total



#### 1.4.1 Description du système de prélèvement

Le système de prélèvement d'échantillons comprend la pointe d'une sonde de prélèvement ou un point de prélèvement dans le système de dilution, un tube de transfert des particules (PTT), un séparateur primaire (PCF) et un séparateur de particules volatiles (VPR) en amont du dispositif de mesure du nombre de particules (PNC). Le VPR doit comprendre des équipements de

dilution de l'échantillon ( $PND_1$  et  $PND_2$ ) et d'évaporation des particules (tube d'évaporation, ET). La sonde ou le point de prélèvement de l'échantillon d'essai doit être positionné(e) dans la veine de dilution de façon à permettre le prélèvement d'un échantillon de gaz représentatif du mélange gaz de dilution/gaz d'échappement homogène. La somme du temps de séjour dans le système et du temps de réponse  $t_{90}$  du PNC ne doit pas dépasser 20 s.

#### 1.4.2 Système de transfert des particules

La pointe de la sonde ou le point de prélèvement et le tube de transfert des particules (PTT) forment ensemble le système de transfert des particules (PTS). Le PTS achemine l'échantillon du tunnel de dilution jusqu'à l'entrée du premier dilueur du nombre de particules. Le PTS doit remplir les conditions suivantes:

Dans le cas d'un système de dilution du flux total et d'un système de dilution du flux partiel du type à prélèvement partiel (comme décrit au paragraphe A.3.2.1 de l'appendice 3 de l'annexe 4B), la sonde de prélèvement doit être installée à proximité de l'axe médian du tunnel à une distance égale à 10 à 20 diamètres de tunnel en aval de l'entrée des gaz, orientée vers l'amont dans le flux de gaz du tunnel, l'axe de la sonde à son extrémité étant parallèle à celui du tunnel de dilution. La sonde doit être positionnée dans la veine de dilution de telle manière que l'échantillon soit prélevé dans un mélange homogène gaz de dilution/gaz d'échappement.

Dans le cas d'un système de dilution du flux partiel du type à prélèvement total (comme décrit au paragraphe A.3.2.1 de l'annexe 4B), le point ou la sonde de prélèvement des particules doit être situé(e) dans le tube de transfert des particules, en amont du porte-filtre à particules, du dispositif de mesure du débit et de tout point de bifurcation de prélèvement ou de contournement. Le point ou la sonde de prélèvement doit être positionné(e) de telle manière que l'échantillon soit prélevé dans un mélange homogène gaz de dilution/gaz d'échappement.

L'échantillon de gaz prélevé dans le PTS doit remplir les conditions suivantes:

Son écoulement turbulent (nombre de Reynolds) doit être  $< 1\,700$ ;

Son temps de séjour dans le PTS doit être  $\leq 3$  s.

Toute autre configuration de prélèvement du PTS pour laquelle il peut être démontré que la pénétration des particules ayant un diamètre de mobilité électrique de 30 nm est équivalente est considérée comme satisfaisante.

Le tuyau de sortie (OT) acheminant l'échantillon dilué du VPR vers l'entrée du PNC doit avoir les propriétés suivantes:

Son diamètre interne doit être  $\geq 4$  mm;

Le temps de séjour dans le tuyau de sortie OT du gaz prélevé doit être  $\leq 0,8$  s.

Toute autre configuration de prélèvement de l'OT pour laquelle il peut être démontré que la pénétration des particules ayant un diamètre de mobilité électrique de 30 nm est équivalente est considérée comme satisfaisante.

- 1.4.3 Séparateur primaire granulométrique
- Le séparateur primaire recommandé doit être installé en amont du VPR. Il doit avoir un point de coupure à 50 % compris entre 2,5  $\mu\text{m}$  et 10  $\mu\text{m}$  au débit volumique choisi pour le prélèvement des émissions de particules. Il doit laisser passer au moins 99 % des particules de 1  $\mu\text{m}$  au débit volumique choisi pour le prélèvement des émissions de particules. Dans le cas d'un système de dilution du flux partiel, il est autorisé d'utiliser le même séparateur primaire pour le prélèvement de mesure de la masse des particules et le prélèvement de mesure du nombre de particules, l'échantillon de mesure du nombre de particules étant extrait du système de dilution en aval du séparateur primaire. Une autre solution admise est d'utiliser des séparateurs primaires distincts, l'échantillon de mesure du nombre de particules étant extrait du système de dilution en amont du séparateur primaire de mesure de la masse de particules.
- 1.4.4 Séparateur de particules volatiles (VPR)
- Le VPR se compose d'un dilueur permettant de réduire la concentration en nombre de particules (PND<sub>1</sub>), d'un tube d'évaporation et d'un second dilueur (PND<sub>2</sub>) montés en série. Cette fonction de dilution a pour objet d'abaisser la concentration en nombre des particules présentes dans l'échantillon entrant dans le dispositif de mesure de la concentration des particules au-dessous du seuil à partir duquel le PNC ne peut plus fonctionner en mode de comptage particule par particule et de supprimer la nucléation au sein de l'échantillon. Le VPR doit donner une indication si le PND<sub>1</sub> et le tube d'évaporation sont à leur température correcte de fonctionnement.
- Le VPR doit également réaliser une vaporisation > 99,0 % de particules de tétracontane ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{38}\text{CH}_3$ ) de 30 nm, avec une concentration à l'entrée  $\geq 10\,000\text{ cm}^{-3}$ , par chauffage et réduction des pressions partielles du tétracontane. Il doit aussi réaliser un facteur de réduction de la concentration des particules ( $f_r$ ) pour des particules dont le diamètre de mobilité électrique est de 30 nm et 50 nm, qui ne soit pas supérieur de plus de 30 % et de plus de 20 % respectivement ni inférieur de plus de 5 % à celui obtenu pour des particules ayant un diamètre de mobilité électrique de 100 nm, pour l'ensemble du VPR.
- 1.4.4.1 Premier dispositif de dilution de la concentration en nombre de particules (PND<sub>1</sub>)
- Le PND<sub>1</sub> doit être spécialement conçu pour diluer la concentration en nombre de particules et pour fonctionner à une température (de paroi) comprise entre 150 °C et 400 °C. La valeur de consigne de la température de paroi ne doit pas dépasser la température de paroi du tube d'évaporation ET (par. 1.4.4.2). Le dilueur doit être alimenté par de l'air de dilution filtré par un filtre THE et être capable de diviser la concentration de l'échantillon d'un facteur compris entre 10 et 200.
- 1.4.4.2 Tube d'évaporation
- Sur toute la longueur du tube d'évaporation, la température de paroi doit être supérieure ou égale à celle du premier dispositif de dilution de la concentration en nombre de particules et maintenue à une valeur fixe nominale comprise entre 300 °C et 400 °C, avec une tolérance de  $\pm 10$  °C.
- 1.4.4.3 Deuxième dispositif de dilution de la concentration en nombre de particules (PND<sub>2</sub>)

Le PND<sub>2</sub> doit être spécialement conçu pour diluer la concentration en nombre de particules. Il doit être alimenté par de l'air filtré par un filtre THE et doit être capable de maintenir un facteur de dilution unique compris entre 10 et 30. Le facteur de dilution doit être fixé entre 10 et 15 et être choisi de telle manière que la concentration en nombre de particules à l'aval du deuxième dilueur soit inférieure au seuil à partir duquel le PNC ne peut plus fonctionner en mode de comptage particule par particule et que la température des gaz à l'entrée du PNC soit inférieure à 35 °C.

1.4.5 Compteur du nombre de particules (PNC)

Le PNC doit satisfaire aux prescriptions du paragraphe 1.3.4.

2. Étalonage/validation du système de prélèvement des particules<sup>1</sup>

2.1 Étalonage du compteur du nombre de particules

2.1.1 Le service technique vérifie l'existence d'un certificat d'étalonnage du PNC attestant la conformité du PNC à une norme identifiable et établi dans les douze mois précédant l'essai.

2.1.2 Après toute nouvelle opération d'entretien importante, le PNC doit être à nouveau étalonné et un nouveau certificat d'étalonnage doit être établi.

2.1.3 L'étalonnage doit être effectué conformément à une méthode d'étalonnage reconnue:

- a) Par comparaison de la réponse du PNC à étalonner avec celle d'un électromètre à aérosol étalonné analysant simultanément des particules étalons classées électrostatiquement; ou
- b) Par comparaison de la réponse du PNC à étalonner avec celle d'un deuxième PNC qui a été directement étalonné selon la méthode de référence.

Dans le cas de l'électromètre, on procède à l'étalonnage en utilisant au moins six concentrations étalons espacées le plus uniformément possible sur la plage de mesure du PNC. L'un de ces points est le point correspondant à une concentration nominale égale à zéro que l'on obtient en raccordant à l'entrée de chaque instrument un filtre THE répondant au minimum à la classe H13 définie dans la norme EN 1822:2008. Aucun facteur d'étalonnage n'étant appliqué au PNC à étalonner, les concentrations mesurées ne doivent pas s'écarter de plus de  $\pm 10\%$  de la concentration étalon pour chaque concentration utilisée, à l'exception du point zéro. Dans le cas contraire, le PNC doit être refusé. Le gradient obtenu par régression linéaire des deux ensembles de données doit être calculé et enregistré. Un facteur d'étalonnage égal à l'inverse du gradient est appliqué au PNC à étalonner. On calcule la linéarité de la réponse sur la base du carré du coefficient de corrélation de Pearson ( $R^2$ ) des deux ensembles de données; elle doit être égale ou supérieure à 0,97. Pour le calcul du gradient et de  $R^2$ , on doit faire passer la droite de régression linéaire par l'origine (correspondant à une concentration zéro pour les deux instruments).

<sup>1</sup> On trouvera sur le site suivant des exemples de méthodes d'étalonnage/validation:  
<http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29grpe/pmpFCP.html>.

Dans le cas du PNC de référence, on procède à l'étalonnage en utilisant au moins six concentrations étalons réparties sur la plage de mesure du PNC. Trois points au moins doivent être à des concentrations inférieures à  $1\,000\text{ cm}^{-3}$ , les concentrations restantes devant être linéairement espacées entre  $1\,000\text{ cm}^{-3}$  et la concentration maximale à laquelle le PNC peut fonctionner en mode comptage particule par particule. L'un de ces points est le point correspondant à une concentration nominale égale à zéro que l'on obtient en raccordant à l'entrée de chaque instrument un filtre THE répondant au minimum à la classe H13 définie dans la norme EN 1822:2008. Aucun facteur d'étalonnage n'étant appliqué au PNC à étalonner, les concentrations mesurées ne doivent pas s'écarter de plus de  $\pm 10\%$  de la concentration étalon pour chaque concentration utilisée, à l'exception du point zéro. Dans le cas contraire, le PNC doit être rejeté. Le gradient obtenu par régression linéaire des deux ensembles de données doit être calculé et enregistré. Un facteur d'étalonnage égal à l'inverse du gradient est appliqué au PNC à étalonner. On calcule la linéarité de la réponse sur la base du carré du coefficient de corrélation de Pearson ( $R^2$ ) des deux ensembles de données; elle doit être égale ou supérieure à 0,97. Pour le calcul du gradient et de  $R^2$ , on doit faire passer la droite de régression linéaire par l'origine (correspondant à une concentration zéro pour les deux instruments).

2.1.4 Lors de l'étalonnage, on doit aussi vérifier qu'il est satisfait aux prescriptions du paragraphe 1.3.4.8 concernant l'efficacité avec laquelle le PNC détecte les particules ayant un diamètre de mobilité électrique de 23 nm. Le contrôle de l'efficacité de comptage des particules de 41 nm n'est pas obligatoire.

2.2 Étalonnage/validation du séparateur de particules volatiles (VPR)

2.2.1 Il doit être procédé à l'étalonnage des facteurs de réduction de la concentration de particules applicable au VPR sur toute la plage de réglages de dilution, aux températures de fonctionnement de l'instrument recommandées par le fabricant, lorsque le dispositif est neuf ou après une opération d'entretien importante. La seule obligation concernant la validation périodique du facteur de réduction de la concentration de particules applicable au VPR consiste à effectuer un contrôle dans une seule station d'essai, caractéristique de celles où on procède aux mesures sur les véhicules diesels équipés d'un filtre à particules. Le service technique doit s'assurer qu'il existe un certificat d'étalonnage ou de validation du séparateur de particules volatiles, établi dans les six mois précédant l'essai d'émissions. Si l'instrument est équipé de dispositifs d'alerte pour la surveillance de la température, l'intervalle entre deux validations peut être de douze mois.

Les caractéristiques du VPR doivent être déterminées quant au facteur de réduction de la concentration de particules avec des particules solides ayant un diamètre de mobilité électrique de 30 nm, 50 nm et 100 nm. Les facteurs de réduction de la concentration de particules ( $f_r(d)$ ) pour les particules d'un diamètre de mobilité électrique de 30 nm et 50 nm ne doivent pas être supérieurs de plus de 30 % et de plus de 20 % respectivement ni inférieurs de plus de 5 % à ceux obtenus pour les particules d'un diamètre de mobilité électrique de 100 nm. Aux fins de validation, le facteur moyen de réduction de la concentration de particules ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 10\%$  du facteur moyen de réduction ( $\overline{f_r}$ ) déterminé lors du premier étalonnage du VPR.

2.2.2 L'aérosol d'essai utilisé pour ces mesures est constitué de particules solides d'un diamètre de mobilité électrique de 30, 50 et 100 nm, avec une concentration minimale de 5 000 particules  $\text{cm}^{-3}$  à l'entrée du VPR. Les concentrations de particules sont mesurées en amont et en aval des composants.

Le facteur de réduction de la concentration des particules pour chaque granulométrie ( $f_r(d_i)$ ) est calculé comme suit:

$$f_r(d_i) = \frac{N_{in}(d_i)}{N_{out}(d_i)}$$

où:

$N_{in}(d_i)$  = concentration en particules de diamètre  $d_i$  en amont;

$N_{out}(d_i)$  = concentration en particules de diamètre  $d_i$  en aval;

$d_i$  = diamètre de mobilité électrique des particules (30, 50 ou 100 nm).

$N_{in}(d_i)$  et  $N_{out}(d_i)$  doivent être corrigés en fonction des mêmes conditions.

La réduction moyenne de la concentration en particules ( $\overline{f_r}$ ) pour un niveau de dilution donné est calculée comme suit:

$$\overline{f_r} = \frac{f_r(30nm) + f_r(50nm) + f_r(100nm)}{3}$$

Il est recommandé d'étalonner et de valider le VPR en tant qu'unité intégrée.

2.2.3 Le service technique doit vérifier l'existence d'un certificat de validation du VPR attestant l'efficacité du séparateur de particules volatiles délivré dans les six mois précédant l'essai d'émissions. Si l'instrument est équipé de dispositifs d'alerte de surveillance de la température, l'intervalle maximal entre deux validations est porté à douze mois. Le VPR doit retenir à plus de 99 % les particules de tétracontane ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{38}\text{CH}_3$ ) d'un diamètre de mobilité électrique d'au moins 30 nm, à une concentration d'entrée  $\geq 10\,000 \text{ cm}^{-3}$  et lorsque l'appareil fonctionne à son niveau de dilution minimale et à la température recommandée par le fabricant.

2.3 Procédures de contrôle du système de comptage des particules

2.3.1 Avant chaque essai, le compteur de particules doit afficher une concentration mesurée de moins de 0,5 particule/ $\text{cm}^{-3}$  lorsqu'un filtre THE répondant au minimum à la classe H13 définie dans la norme EN 1822:2008 est raccordé à l'entrée du système de prélèvement des particules (VPR et PNC).

2.3.2 Chaque mois, on vérifie que la valeur affichée du débit entrant dans le compteur de particules ne s'écarte pas de plus de 5 % du débit nominal du compteur lorsque le contrôle est effectué au moyen d'un débitmètre étalonné.

2.3.3 Chaque jour, on vérifie, après avoir raccordé un filtre THE répondant au minimum à la classe H13 définie dans la norme EN 1822:2008 à l'entrée du compteur de particules, que celui-ci affiche une concentration  $\leq 0,2 \text{ cm}^{-3}$ . Ce filtre une fois déposé, le compteur, alimenté par l'air ambiant, doit indiquer une concentration d'au moins 100 particules/ $\text{cm}^{-3}$ . Lorsqu'on remet le filtre THE en place, la concentration doit de nouveau être  $\leq 0,2 \text{ cm}^{-3}$ .

- 2.3.4 Avant le début de chaque essai, il doit être confirmé que le tube d'évaporation, s'il fait partie de l'appareillage, a atteint sa température correcte de fonctionnement.
- 2.3.5 Avant le début de chaque essai, il doit être confirmé que le dilueur PND<sub>1</sub> a atteint sa température correcte de fonctionnement.
-